Aus dem Hygiene-Institut der Universität Marburg (Lahn)
Direktor: Professor Dr. med. R. Siegert

Grundlegende und vergleichende quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels bekannter Luftkeimsammler und eines neuentwickelten sog. Agartrommel-Ventilators

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität Marburg

vorgelegt von

Manfred Strack

aus Marburg

Marburg 1968

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus dem Hygiene-Institut der Universität Marburg (Lahn)
Direktor: Professor Dr. med. R. Siegert

Grundlegende und vergleichende quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels bekannter Luftkeimsammler und eines neuentwickelten sog. Agartrommel-Ventilators

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität Marburg

vorgelegt von

Manfred Strack

aus Marburg

Marburg 1968

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 8.August 1968
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. R. Siegert

Referent: Doz. Dr. med. W. Schiff

Correferent: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H. Heuser

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

		Seite
A.	Einleitung	1
B.	Zur Methodik	11
C.	Untersuchungsergebnisse	18
	I. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Fritte-Durchperler, Kapillar-Impinger und All-Glass-Impinger	18
	II. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des Slit-Samplers nach DECKER und WILSON (Fort Detrick) und des ANDERSEN-6-Stufen-Sammlers	27
	III. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Agartrommel-Ventilatoren mit Flachdeckel-, Trichterdeckel- und Runddeckel-Verschluß.	33
	IV. Untersuchungen über die Keimeinfang-kapazität des Agartrommel-Ventilators	44
	V. Versuche zur Steigerung der Luft-keimausbeute des Agartrommel-Ventilators mit Runddeckel	50
D.	Besprechung	56
E.	Zusammenfassung	64
F.	Literatur	66

A. Einleitung

Die normale Bakterienflora der Luft, die vorwiegend aus apathogenen Kokken, aeroben und anaeroben Bazillen und Bazillensporen, gram-negativen Stäbchen und Aktinomyceten besteht, ist nicht nur von besonderem medizinischen Interesse (Probleme der Entkeimung, Allergie), sondern es kommt ihr eine große wirtschaftsschädigende Bedeutung zu (Lebensmittel und Getränke im Haushalt, Gewerbe und Industrie). Seit Beginn der bakteriologischen Aera sind daher eine Vielzahl von Untersuchungen über den Luftbakteriengehalt durchgeführt worden. Trotz intensiver, in den letzten Jahrzehnten vorgenommener Bemühungen sind die derzeitigen Kenntnisse allerdings noch wenig gesichert. Dies ist in der Hauptsache auf die außerordentlich großen Schwierigkeiten zurückzuführen, die mit einer exakten Bestimmung des quantitativen Luftkeimgehalts verbunden sind.

Die Frage des Vorkommens kleinster Lebewesen in der Luft taucht zum erstenmal in Arbeiten von NEEDHAM (1745), BUFFON (1749) und SPALLANZANI (1765) auf. SPALLANZANI stellte hierbei fest, daß sich in aufgekochten Nährlösungen substratzersetzende Mikroorganismen nur bei Zutritt von Luft entwickeln, was späterhin von SADDLINGTON (1807) und APPERT (1810) bestätigt wurde. Diesen Angaben ist jedoch von Zeitgenossen heftig widersprochen worden. So meinte z.B. GAY LUSSAC (1810), daß es lediglich der Sauerstoffmangel sei, der SPALLANZANI's Nährlösungen habe steril erscheinen lassen. Erst als PASTEUR

1859 seine Entdeckung der mikrobiellen Ursache von Gärung und Fäulnis veröffentlichte, war das Vorhandensein von Luftmikroben außer Frage gestellt. PASTEUR gebührt auch das Verdienst als erster quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen vorgenommen zu haben.

Bis heute sind eine nahezu unübersehbare Anzahl verschiedener Verfahren und Geräte zur quantitativen Bestimmung des Luftkeimgehalts entwickelt worden. Aufgrund der unterschiedlichen Funktionsprinzipien kann man folgende 7 verschiedene Luftkeimsammelmethoden feststellen :

1) Sedimentation
2) Filtration der Luft
3) Luftdurchströmung durch Flüssigkeiten
4) Luftaufprall auf feste Nährmedien
5) Zentrifugation der Luft
6) Elektropraecipitation
7) Thermopraecipitation

ad 1 : Die Sedimentationsmethode ist eines der ältesten und einfachsten Verfahren um Mikroorganismen aus der Luft aufzufangen (KOCH, 1881). Aufgrund ihrer Sinkgeschwindigkeit (bei Partikeln von 1 u Durchmesser etwa 0,2 cm/min. in völliger Luftruhe; FALKE, 1949) setzen sich bevorzugt größere oder an Staubteilchen haftende Keime auf einer mit einem Nährmedium beschickten Platte ab, auf der nach erfolgter Bebrütung die Zahl der sich entwickelten Bakterienkolonien bestimmt wird. Dieses KOCH'sche "Absitzverfahren" gestattet naturgemäß keine Messung des tatsächlichen Luftkeimgehalts, insbesondere nicht in bewegter Freiluft. Eine gewisse Verbesserung stellte die von PASTEUR (1860) und FICKER (1896) be-

schriebene Sedimentationsmethode dar. Hierbei wurde ein Glasgefäß, dessen Innenwandung mit Nährgelatine bedeckt wurde, evakuiert. Am jeweiligen Versuchsort ließ man die zu untersuchende Luft einströmen. Nach Verschluß des Gefäßes sedimentierten und entwickelten sich die darin enthaltenen Keime auf dem Nährmedium. Dies gilt auch für das HESSE'sche Rohr (1883), dessen Innenwandung mit Gelatine ausgekleidet war, an der sich ein Teil der Luftbakterien absetzte, die durch einen langsamen Luftdurchfluß (0,3 l/min.) herangeführt wurden.

ad 2 : Bei der Filtrationsmethode werden die in bestimmten Luftprobenmengen enthaltenen Keime in geeigneten (unlöslichen bzw. löslichen) Filtern oder Filtriermassen zurückgehalten. Nach dem Sammelvorgang werden die Filter in sterilen Flüssigkeiten ausgewaschen bzw. aufgelöst und der Bakteriengehalt dieser Flüssigkeiten durch geeignete bakteriologische Verfahren (z.B. Kultivieren von Keimgußplatten) bestimmt.

An nicht auflösbaren Filtermaterialien fanden Verwendung : Glaswolle (FREUDENREICH, 1884; MIQUEL, 1885; POLUNIN, PADY und KELLY, 1952), Watte (GUYTON, BUCHANAN und LENSE, 1956; ZUBAREW zit. n. VLODAVEC, 1957), Filter- oder Asbestpapier (FREY und KEITT, 1925; BESSON, zit. n. VLODAVEC, 1958), Sand (PETRI, 1888; SOPER, zit. n. RETTGER, 1910) und Glaspulver FICKER, 1896). Die von zahlreichen Autoren angegebenen Kunststoff-Membranfilter (KRUSE, 1948; GOETZ, 1953; ALBRECHT, 1957; GROHAR und EISSA, 1957; SUJKOVA, 1957; MACHALA und SPURNY, 1959 u.a.) wurden nach der Luftfiltration zwecks Bebrütung und Keim-

auszählung in der Regel direkt auf feste Nährböden gelegt. Als lösliche Filtermaterialien sind benutzt worden: Alkohol-Aether-lösliche Schießbaumwolle (PASTEUR, 1860) oder Membranfilter (MACHALA und SPURNY, 1959) und wasserlösliche Materialien wie Zucker (FRANKLAND, 1887; BULLER und LOVE, 1911), Salze oder Salzgemische (MIQUEL, 1890; OESTERLE, 1934), Gelatine-Schaum (MITCHELL, TIMMON und DORRIS, 1951; NOLLER und SPENDLOVE, 1956; WERSCHIGORA, zit. nach VLODAVEC, 1958), Gelatine-Pulver (MITCHELL, 1954), Natrium-Glutamat (KAJIWARA und SAMORI, 1957; VANINI, 1958), Natrium-Alginat(RICHARDS, 1955) und Alginat-Wolle (HAMMOND, 1958).

ad 3 : Beim Keimeinfang durch in Flüssigkeiten eingeleitete Luft ist zwischen a) Gaswaschflaschen (Bubbler bzw. Luftdurchperler) und b) Impingern (to impinge - aufprallen) zu unterscheiden. Im ersteren Falle wird meist mit geringer Luftdurchflußgeschwindigkeit gearbeitet, während bei den letzteren (erst in den Jahren 1939 - 1946 für Luftkeimbestimmungen benutzten) Verfahren (s. TYLER und SHIPE, 1959a) Luftströme von annähernd Schallgeschwindigkeit angewandt werden. Der Luftdurchfluß wird, wie bei dem Filtrationsverfahren, mittels Wasserstrahl- oder Vakuumpumpe erzeugt. Die Keimzahlbestimmung erfolgt im allgemeinen durch das Keimgußplatten-Verfahren.

a) Gaswaschflaschen, die zu den ersten Luftkeimsammelgeräten überhaupt zählen (bereits GAULTIER de GLAUBRY, 1832, hatte auf diese Weise Pilzsporen in der Luft nachgewiesen), sind von zahlreichen Autoren verwendet, und z.T. nur geringfügig abgewandelt worden: Hintereinandergeschal-

tete Waschflaschen nach COHN (1875), MIQUELsche Kugelröhre (1878), das Aeroskop von RETTGER (1910) mit zahlreichen Luftaustrittsporen an einem Kapillarrohr-Kugelende und dessen Modifizierung nach MILJAWSKAJA (zit. nach VLODAVEC, 1958), der Bead-Bubbler von WHEELER (1941), der Folin-Bubbler (LEMON, 1943), Edgewood-Bubbler (zit. nach TYLER und SHIPE, 1959a), das DJAKONOVsche Waschverfahren (zit. nach VLODAVEC, 1958), und die Glasfritte-Waschflasche nach WINDISCH (1965a) mit den Eintauchnutschen G1 - G4.

b) Bei Liquid-Impinger-Geräten prallt der Luftstrom mit hohem Druck je nach apparativer Anordnung gegen den Gefäßboden, den Flüssigkeitsspiegel oder auf eine dazwischen angebrachte Glasplatte. Das erste Gerät dieser Art (mit Luftaufprall auf eine Glasplatte) stellt wohl der GREENBURG-SMITH-Impinger (1922) dar, der vorwiegend bei Luftstaubmessungen Verwendung fand. Mit Luftaufprall gegen den Gefäßboden arbeiten der Standard-Impinger, der daraus entwickelte Porton-Impinger (HENDERSEN und WOODS, 1942), der Midget-Impinger (zit. nach TYLER und SHIPE, 1959a), der Kapillar-Impinger nach ROSEBURY (1947), der All-Glass-Impinger oder AGI-4 von TYLER und SHIPE (1959a) mit einem Abstand von 4 mm zwischen Kapillarrohrende und Gefäßboden und der Critical-orifice-liquid-Impinger (COWN, KETHLEY und FINCHER, 1957). Auf den Flüssigkeitsspiegel prallt die Luft auf und zwar senkrecht beim AGI-30,(ein von BRACHMAN, (1964) modifizierter All-Glass-Impinger) und tangential (was sich keimschonender auswirkt) beim Canadien-Impinger, Bulged AGI (zit. nach TYLER und SHIPE, 1959a), Tangential-Jet- oder SHIPE-Sampler (SHIPE, TYLER und CHAPMAN, 1959b),

Kapillar-Impinger nach BRONN (WINDISCH, 1965b) und beim Multi-Stage-Liquid-Impinger nach MAY (1966). Das letztgenannte 3-stufige Gerät gestattet, ähnlich wie die Kombination eines Impingers mit einem Pre-Impinger (MAY und DRUETT, 1953) eine Separierung nach verschiedenen Keimgrößen.

Eine gewisse Sonderstellung unter den Impingern nehmen Geräte ein, bei denen die Auffangflüssigkeit fein zerstäubt wird, z.B. der RETSCHMJENSKIJ-Impinger (zit. nach VLODAVEC, 1958) und der Venturi-Scrubber (JONES, 1949; MAGILL u. Mit., 1950; GORDON und BOY, 1953). Beim Atomizer-Sampler (MOULTON, PUCK und LEMON, 1943; modifiziert von ALBRECHT, 1955) wird ein vorversprühtes Aerosol zusätzlich durch eine Waschflasche geleitet.

ad 4 : Bei den sogenannten Agar-Impaktoren wird ein (durch eine Wasserstrahl- oder Vakuumpumpe erzeugter) Luftstrom mit von Gerät zu Gerät variierender Geschwindigkeit durch Schlitze, enge Luftzufuhrrohre, Poren oder Trichter auf eine Agaroberfläche geleitet, wobei ein gewisser Teil der Luftbakterien auf ihr haften bleibt. Die Keimzahlbestimmung erfolgt nach anschließender Bebrütung des Agar-Keimauffangmediums. Solche Geräte sind: Der Schlitz-Sammler von LUCKIESH u.Mit. (1946), der "Casella"-Slit-Sampler (BOURDILLON, LIDWELL und SCHUSTER, 1948), das Biologische Konimeter nach REIFFERSCHEID (1952), der Slit-Sampler von DECKER und WILSON (1954), dessen Modifikation mit langsam rotierender Agar-Platte von KUEHNE und DECKER (1956), der Schlitz-Sammler von KROTOV (1957), mit selbständiger Luftförderung mittels eines eingebauten Lamellen-Rotors,

der gleichzeitig die Agar-Platte schnell rotieren läßt, sowie der Slit-Incubator-Sampler (DECKER, KUEHNE, BUCHANAN und PORTER, 1958). Mit einer doppeltrichterförmigen (sanduhrartigen) Düse als Lufteinlaß arbeitet der Luftkeim-Sammler von HOLLAENDER, DALLA VALLE und SYMON (zit. nach VLODAVEC, 1958). Ein feinporiges Sieb als Lufteinlaß besitzen die Geräte von Du BUY und CRISP (1944) sowie HOLLAENDER und LACKEY (1945). Beim Kaskaden-Impaktor nach ANDERSEN (1958) sind insgesamt 6 derartige Sieb-Agar-Platten-Systeme übereinander angeordnet; da die Porengröße der einzelnen Siebe sich zunehmend verkleinert, wird in Verbindung mit einer hierdurch sich steigernden Luftgeschwindigkeit eine Separierung nach verschiedenen Partikelgrößen ermöglicht. Ein ähnlicher Separierungseffekt wird auch durch die Kaskadenimpaktoren nach MAY (1945) oder SONKIN (1950), den Casella-4-Stufen-Slit-Sampler, die Stufensammler von PUCK und MAY (zit. nach SONKIN, 1950), WILCOX (1953), MITCHELL und PILCHER (1959) sowie von LIDWELL und NOBLE (1965) erreicht. Schließlich ist von ANDERSEN (1962) ein Agar-Drum-Sampler ("Monitor") beschrieben worden, bei dem die Luft an die mit Nähragar beschichtete Außenseite einer langsam rotierenden Agartrommel geblasen wird; da gleichzeitig die Luftdüse sich langsam nach oben bewegt, sind nach Bebrütung der Trommel die Bakterienkolonien spiralförmig angeordnet, was einen Rückschluß auf die Luftkeimkonzentration zu bestimmten Zeitpunkten während der Sammelperiode gestattet.

ad 5 : Unter Ausnutzung der Zentrifugalkräfte werden bei der Luftzentrifuge von WELLS (1933) die in einem Luftstrom enthaltenen Bakterien an die Innenseite eines mit einem Nährmedium beschichteten, rasch rotierenden kleinen Glaszylinders geschleudert. Ähnlich arbeiten die Luftzentrifuge nach SAFIR (1945) und das Conifugen-Gerät (SAWYER und WALTON, 1950). Beim Aerotec-Tube-Gerät (HARRIS und EISENBUD, 1953) wird der Luftstrom durch ein zweckdienlich gebautes Lufteintrittsrohr in rasche spiralförmige Bewegung versetzt, so daß sich die größeren Partikel an die Innenwandung eines Glasgefäßes absetzen (bzw. ausgeschleudert werden) und die kleineren mittels eines am Ende des Geräts angebrachten Membranfilters gesammelt werden.

ad 6 : Bei den Elektro-Präzipitatoren von VLODAVEC (1957) und GREGORY (1957) werden zwei einander gegenüberstehende Nähragarplatten mit Elektroden entgegengesetzter Ladung versehen; je nach den Ladungseigenschaften der Luftbakterien werden diese von der einen oder anderen Agarplatte angezogen, wobei deren Auftreffgeschwindigkeit von der Feldspannung, der Ladungsgröße der Partikel und deren Dimensionen abhängt (zit. nach VLODAVEC, 1958). BERRY (1941), LUCKIESH, TAYLOR und HOLLADAY (1946) führten den Luftstrom über Doppeltrichter auf zwei nebeneinander stehende Petri-Schalen (vergl. ad 4), die an eine positive bzw. negative Elektrode angeschlossen waren; hierbei besaßen die Trichter eine zur jeweiligen Nährbodenschale gegensätzliche Ladung. MORRIS und Mit. (1961) konstruierten ein Gerät (ähnlich der von WELLS angegebenen

Luftzentrifuge), bei dem der Luftstrom durch einen rotierenden Glaszylinder (-) mit achsial eingeführter Elektrode (+) hindurchgeleitet wurde. Bei dem Elektro-Präzipitator von VERSIGORA (1956) sowie dem Large-Volume-Airsampler (Fa. App. Science Division, Litton Systems, Minnesota, 1964) werden die Luftbakterien mit Hilfe einer Kronenentladung negativ aufgeladen, so daß ihre Absonderung an einem positiv geladenen Keimauffangmedium stattfindet.

ad 7 : Die Thermo-Präzipitation von Luftbakterien beruht auf der Beobachtung, daß kleine Partikel von warmen Gegenständen abgestoßen und von erheblich kälteren angezogen werden. Bei den Geräten von ROSENBLATT und LA MER (1946) sowie KETHLEY, GORDON und ORR (1952) wird die zu untersuchende Luft mit mäßiger Geschwindigkeit zwischen einer beheizten und einer gekühlten Glasplatte hindurchgeleitet. Die Keimzahlbestimmung erfolgt durch mikroskopische Untersuchung.

Bei der Vielzahl der bis heute entwickelten und mannigfaltig modifizierten Luftkeimsammler fällt es außerordentlich schwer, anhand von Literaturangaben die Leistungsfähigkeit einzelner Geräte zu beurteilen und miteinander zu vergleichen. Dies hat hauptsächlich folgende Gründe: nicht selten fehlen Vergleichsuntersuchungen mit anderen Keimsammlern. Ferner handelt es sich meist um Versuche mit künstlichen Bakterien-Aerosolen und zwar oft unterschiedlicher Spezies, was keinen gültigen Rückschluß auf den Sammeleffekt eines bestimmten Geräts gegenüber

den Bakterien normaler Raum- oder Freiluft gestattet. Auch sind vielfach die mitgeteilten Befunde überhaupt nicht oder nur selten durch einwandfreie Abluftprüfungen gesichert worden. Schließlich fanden in der Literatur bestimmte Geräte durch verschiedene Autoren eine unterschiedliche Beurteilung.

1966 ist von SCHIFF ein auf einem neuartigen Funktionsprinzip entwickeltes und als Agartrommel-Ventilator [1] bezeichnetes Luftkeimsammel-Gerät angegeben worden (s.Methodik). Aufgabe vorliegender Arbeit war es, dieses ATV-Gerät auf seine Brauchbarkeit als Luftkeimsammler zu untersuchen und quantitative Vergleichsprüfungen mit mehreren anderen Sammelgeräten (Slit-Sampler (F.D.), Kaskaden-Impaktor nach ANDERSEN, All-Glass-Impinger (AGI-4), Kapillar-Impinger nach BRONN und einer Fritte-Gaswaschflasche) vorzunehmen.

---

1) Konstruktion und Herstellung: Fa. FILBA, A. Reuter KG, Marburg/Lahn.

B. Zur Methodik

1. Geräte:

Für die Versuche verwendeten wir folgende Apparate:

a) Jeweils sechs der in der Abbildung 1 wiedergegebenen Impinger bzw. Waschflaschen:
All-Glass-Impinger, AGI-4 [1] (TYLER und SHIPE, 1959), 4 mm Abstand zwischen Kapillarrohrende und Gefäßboden, 80 ml Keimauffangflüssigkeitsmenge;
Kapillar-Impinger nach BRONN [2] (WINDISCH, 1965a), 100 ml Keimauffangflüssigkeit;
Fritte-Durchperler [3] (WINDISCH, 1965b), Fritte Nr.G 1, 80 ml Keimauffangflüssigkeitsmenge;

b) zwei der in der Abbildung 2a und b aufgezeigten Slit-Sampler nach DECKER und WILSON (Fort Detrick, U.S.A.); das Einstellen der optimalen Schlitzbreite von 0,15 mm (bei Luftdurchfluß von 1 cbf = 28,3 l/min.) bzw. von 0,4 mm (bei 5 l/min.) erfolgte mittels einer Fühlerlehre, das des Schlitz-Agarabstandes mittels eines eingebauten regulierbaren Lufteinlaß-Tubus;

c) ein ANDERSEN-Sampler (s. Abbildung 3), bei dem der Luftstrom durch 6 übereinander angeordnete Sieb-Agarplatten-Systeme (mit pro Sieb nach unten von 0,04 bis 0,01 mm abnehmender Porengröße) über eine Schlauchverbindung zur Vakuum-Exzenterpumpe geleitet wird;

d) vier der von SCHIFF (1966) angegebenen Agartrommel-Ventilatoren (s. Abbildungen 4,5,6,7a und b) und zwar mit Flachdeckel-, Trichterdeckel- und Runddeckel-Verschluß; beim ATV-Gerät befindet sich in einem Kesselraum ein zweiter (Trommel-) Kessel, in den eine Blechtrommel, deren Innenfläche mit Nähragar beschickt worden war, ein-

---

1) Ace Glass, Inc., Vineland, N.J., U.S.A.
2) Glasbläserei des Instituts für Gärungsgewerbe, Berlin
3) Gaswaschflasche der Fa. Schott & Gen., Mainz

Abbildung 1

1) All-Glass-Impinger
2) Kapillar-Impinger
3) Fritte-Durchperler

(Le=Lufteinlaßrohr)
(Al=Abluftrohr)

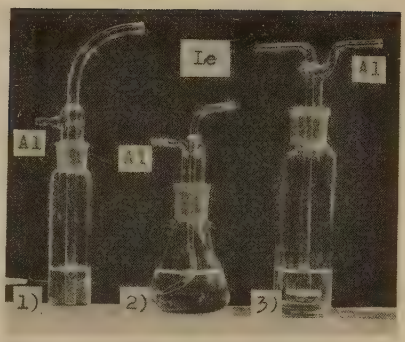


Abbildung 2a

Slit-Sampler (F.D.)
(Le=Regulierbarer
Lufteinlaßtubus)

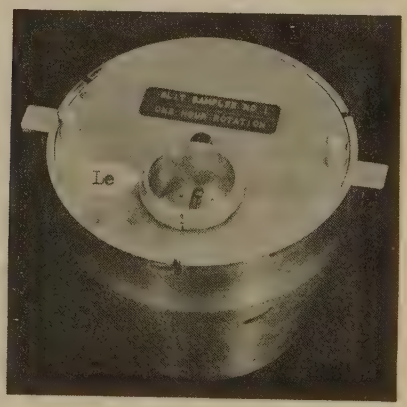


Abbildung 2b

desgl., mit eingesetzter Agar-Platte (Ap)
(S=Schlitz)

Abbildung 3

ANDERSEN-Sampler mit Exzenterpumpe (P)
(Le=Lufteinlaß)
(Al=Abluftrohr)

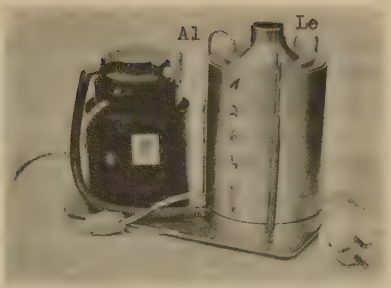


Abbildung 4

Agartrommel-Ventilator mit Flachdeckel

(Le=Lufteinlaß)
(Al=Abluftrohr)
(Va=Ventilator-antriebscheibe)

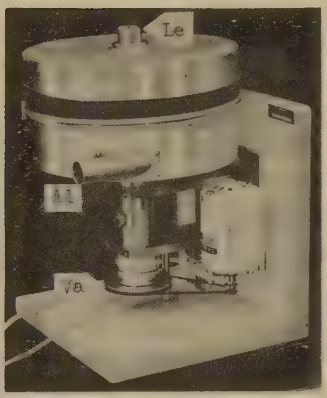


Abbildung 5
Ventilatorflügel und Agartrommel mit Deckel (mittels Klebestreifen abgedichtet)

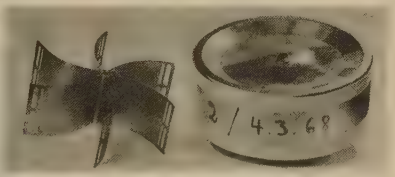
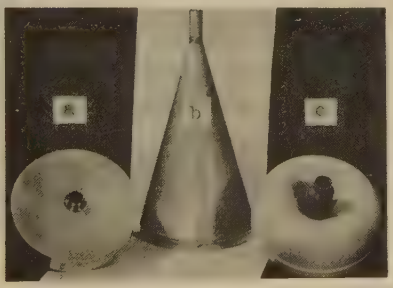


Abbildung 6
ATV-Verschlüsse:
a) Flachdeckel
b) Trichterdeckel
c) Runddeckel



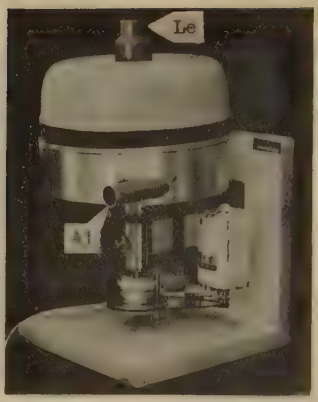


Abbildung 7a
Agartrommel-Ventilator
mit Runddeckel

(Le=Lufteinlaßrohr)
(Al=Abluftrohr)

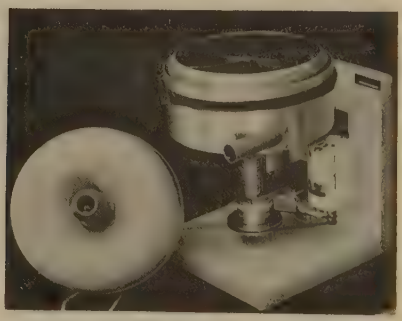


Abbildung 7b

desgl., offen mit
eingesetzter Agar-
trommel

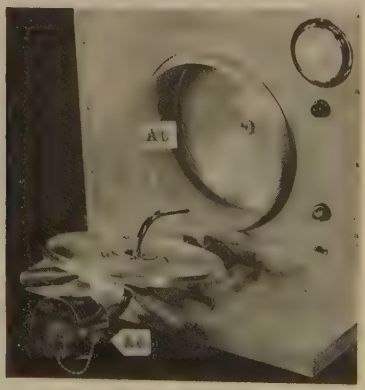


Abbildung 8

Agartrommel-Gießgerät,
offen, mit Einfüll-
trichter (Ae) und ein-
gesetzter Agartrommel (At)

gelegt wird. Ein im Kesselraum rotierender 6-flügeliger Ventilator (ca. 1500 U/min.), den ein unterhalb des Kessels befindlicher Elektromotor antreibt, befördert die Prüfluft durch eine in der jeweiligen Deckelmitte befindliche Öffnung in das Geräteinnere. Durch die Ventilationskräfte werden die Luftkeime an die Agartrommel geschleudert. Die Luft entweicht entlang der Trommelinnenwandung nach oben über den schmalen Spaltraum zwischen Kesselraumwandung und Trommelkessel durch ein seitlich am Kesselraumboden angebrachtes Abluftrohr. Die jeweiligen Gerätedeckel (Abb. 6a, b und c) werden mittels Gummiband luftdicht am Kesselraum befestigt;

e) das von SCHIFF (1966) angegebene Agartrommel-Gießgerät (s. Abbildung 8); dieses Gerät enthält in einem feststehenden Kessel einen Rotationstopf, der durch einen Elektromotor (ca. 2800 U/min.) angetrieben wird. Nach Einschieben einer Trommel in diesen Topf wird der Kessel durch einen Deckel luftdicht verschlossen. In die Öffnung des achsialen Mittelfelds dieses Deckels, das infolge eines beidseitig abgedeckten Rillenkugellagers nicht mitrotiert, wird das Agareinfüllrohr eingesetzt und mittels Schraubverschluss mit dem Deckelmittelfeld fest verbunden. Auf die rotierende Trommel wird die Nährflüssigkeit eingegossen, so daß sich auf der Trommelinnenfläche eine homogene, ca. 1-2 mm starke Agarschicht bildet. Da bei aufeinanderfolgendem Gießen mehrerer Trommeln eine zunehmende Erhitzung des Rotationstopfes ein Erstarren des Agars verzögern würde, sind an seiner Außenwandung Kühlrippen angebracht.

2. Geräteentkeimung und Gießen der Agartrommeln:

Die Impingergeräte und Waschflaschen sind im Autoklaven, das Andersen-Gerät im Heißluftschrank sterilisiert worden. Bei den Agartrommel-Ventilatoren und Slit-Samplern wurde lediglich eine Entkeimung der Funktionsteile mittels

Bunsenbrenner und 70 vol.%-igem Alkohol vorgenommen. Das Gießen der Agartrommeln und -platten erfolgte in einem separaten Raum, der durch UV-Licht und gelegentliches Versprühen eines Desinfektionsmittels (Incidin) relativ keimarm gehalten wurde. Pro Trommel verwendeten wir ca. 120 ml auf etwa 55°C abgekühlten 2,5%-igen Nutrientagar (Difco). Die gegossenen Agartrommeln und -platten wurden mit Klebeband bis zum jeweiligen Versuchsbeginn luftdicht verschlossen (vgl. Abbildung 5). Außerdem wurden bei jeder Versuchsserie Sterilkontrollen mitgeführt, wobei die Agartrommeln bzw. -platten kurzfristig und ohne Prüfluftzufuhr in die Geräte eingelegt wurden.

3. Durchführung der Keimsammelversuche:

Die Luftzufuhr erfolgte bei den Impinger-Geräten mittels Wasserstrahlpumpe, bei den Slit-Samplern mit Hilfe von handelsüblichen Staubsaugern, beim Andersen-Gerät durch die eingebaute Exzenterpumpe und beim Agartrommel-Ventilator durch die Sogwirkung der rotierenden Ventilatorflügel. Die Luftdurchflußmenge wurde bei den Impingern mittels Rotametern (Fa. Rota, Oeflingen, K 10-98; Meßbereich bis 150 l/h), bei allen anderen Luftkeimsammlern mittels Wright-Respirometer (British Oxygen Company; Meßbereich bis 100 l bzw. 10.000 l) gemessen und durch Drosselventile bzw. Schlauchklemmen am Luftzufuhr- oder Abluftrohr reguliert. Bei vergleichenden Messungen zweier oder dreier Geräte wurden die Luftproben stets durch ein gemeinsames

Rohr entnommen und über ein 2- bzw. 3-Wege-Verbindungsstück auf die einzelnen Sammler verteilt.

4. Kultivierung und Auswertung des Keimsammelguts:

Als Auffangflüssigkeit diente bei den Impinger-Geräten eine 0,2 %-ige Lösung von Di-Natriumhydrogenphosphat. Für die Keimzahlbestimmung wurde das Keimgußplatten-Verfahren angewandt, wobei jeweils die gesamte Keimauffangflüssigkeit in Einzelportionen zu etwa 7 ml mit der gleichen Menge auf etwa 55°C abgekühlten Nutrientagars (Difco) vermischt wurde; dies gilt auch für die 2 mal 7 ml Phosphatlösung, mit der die Auffanggefäße anschließend ausgespült wurden. Bei den übrigen Keimsammlern verwendeten wir als Auffang/Kultur-Medium einheitlich 2,5 %-igen Nutrientagar. Die Auszählung der Bakterienkolonien erfolgte bei den Agartrommeln und -platten nach 2 täg. und bei den Keimgußplatten nach 3 täg. aerober Bebrütung bei 37°C; Pilze blieben hierbei unberücksichtigt.

C. Untersuchungsergebnisse

I. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Fritte-Durchperler, Kapillar-Impinger und All-Glass-Impinger

Wegen der weiten Verbreitung, die die Waschflaschen und Impinger gefunden haben und wegen deren im allgemeinen guten Beurteilung sind zunächst einige solcher Luftkeimsammler vergleichsweise auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht worden. Für diese in gewöhnlicher Raumluft (Laboratorium bzw. Tierstall) vorgenommenen Versuche verwendeten wir einige Fritte-Gaswaschflaschen (mit Eintauchnutsche G 1), Kapillar-Impinger nach BRONN und All-Glass-Impinger (AGI-4). Hierbei sind die beiden letzteren Sammler nicht als eigentliche Impinger-Geräte (Luftaustritt mit annähernd Schallgeschwindigkeit), sondern ebenfalls als einfache Durchperler bzw. Bubbler benutzt worden, da nach den Erfahrungen von SCHIFF und v.ENDE (1967) mit den beiden ersteren Geräten die relativ größte Keimausbeute bei einem Luftdurchfluß von 25 l/h zu erzielen ist bzw. nach HURTIENNE (1967) beim BRONNschen Gerät unterschiedliche Luftdurchflußmengen weitgehend die gleichen Keimzahlen erbringen sollen. Diese Luftdurchflußmenge von 25 l/h ist auch für den AGI-4 eingehalten worden.

Die in vier Versuchsserien zu jeweils 12 Vergleichsbestimmungen mit 2 verschiedenen Geräten bzw. zu 18 Vergleichsversuchen mit allen drei Geräten erhaltenen durchschnittlichen Keimzahlen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Es zeigte sich hierbei, daß der Fritte-Durchperler eine etwa 1,4 mal

Tabelle 1: Vergleichende quantitative Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels eines Fritte-Durchperlers, Kapillar-Impingers (n. BRONN) und eines All-Glass-Impingers (AGI-4)

Luftdurchfluß: jeweils 25 l/h
Kultur-Medium: Nutrient-Agar
Versuchsraum : Laboratorium und (*) Tierstall-Vorraum

Anzahl der Vergleichs-bestimmungen	Versuchs-dauer		Fritte-Wasch-flasche	Kapillar-Impinger	All-Glass-Impinger
12	1 Std.	Keimzahl-Mittelwert/m^3	550	392	.
		Keimausbeute-Relation	1,4	1	.
12	1 Std.	Keimzahl-Mittelwert/m^3	.	303	210
		Keimausbeute-Relation	.	1,4	1
12	1 Std.	Keimzahl-Mittelwert/m^3	193	.	113
		Keimausbeute-Relation	1,7	.	1
18	2 Std. *	Keimzahl-Mittelwert/m^3	883	677	487
		Keimausbeute-Relation	1,8	1,4	1

so große Keimausbeute liefert wie der Kapillar-Impinger, wobei in 11 von 12 Versuchen das erstere Gerät dem letzteren überlegen war (Häufigkeit der günstigen Fälle = ca. 90 %). In etwa gleichem Maße erwies sich der Kapillar-Impinger dem AGI-4 überlegen, und das hieraus für einen Vergleich von Fritte-Durchperler und All-Glass-Impinger abzuleitende Keimausbeuteverhältnis von 1,4 x 1,4 : 1 = ca. 2 : 1 wurde in guter Annäherung sowohl im entsprechenden Vergleichsversuch (Keimzahlverhältnis 1,7 : 1) wie mit allen drei Geräten (Verhältnis 1,8 : 1) gefunden und zwar bei einer Häufigkeit der günstigen Fälle von jeweils 100 %. Demnach ist bei einem Luftdurchfluß von 25 l/h der Fritte-Durchperler den beiden anderen Geräten deutlich überlegen. Es bliebe allerdings zu prüfen, ob dieser Luftdurchfluß tatsächlich auch für den All-Glass-Impinger als optimal anzusehen ist.

Es fällt schwer, diesen Befund mit den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen anderer Autoren zu vergleichen, da entsprechende Mitteilungen nur spärlich vorliegen und es sich hierbei großenteils um Versuche mit künstlichen Bakterien-Aerosolen handelt. Zudem sind solche Prüfungen bei unterschiedlichen Luftdurchflußmengen und Verwendung verschiedener Bakterienspezies vorgenommen worden, was sich stark auf den Wirkungsgrad eines Gerätes auswirken kann. Berichte über Vergleichsversuche derselben Geräte sowohl in Aerosolen wie in gewöhnlicher Raumluft liegen kaum vor; zahlreiche Autoren sind zudem der Ansicht, daß in beiden Milieus weitgehend gleiche Versuchsvoraussetzungen gegeben sind. Eine Gegenüberstellung der von einigen Untersuchern

mit verschiedenen Waschflaschen und Impingern bei quantitativen Vergleichsprüfungen von Bakterien-Aerosolen oder gewöhnlicher Raumluft erhaltenen Befunde ist in der Tabelle 2 gebracht. Trotz ihrer Unzulänglichkeit vermittelt diese Aufstellung den Eindruck, daß bei Aerosolversuchen die Wirksamkeit verschiedener Keimsammler einander weit mehr angeglichen ist als bei Vergleichsversuchen in gewöhnlicher Raumluft. Hierbei seien die mit dem RETSCHMJENSKIJ-Impinger und der DJAKONOVschen Waschflasche in beiden Luftmedien erhaltenen Vergleichswerte hervorgehoben, nach denen letzterer Sammler gegenüber einer Sporensuspension von Bac.subtilis etwa 92 % der Keimerfassungschance des ersteren Geräts besaß (KITENKO, 1963), während gegenüber Normalluft dessen Keimeinfangquote auf 43 % vermindert war (VLODAVEC, 1957). Die von vielen Untersuchern angegebene absolute Keimausbeute in % stützt sich meistens auf Prüfungen des Keimgehalts der Abluft eines Luftkeimsammlers. Nicht selten werden bei Impingern Werte zwischen 90 und annähernd 100 % angegeben, allerdings meist aufgrund von Aerosolversuchen. Es muß bezweifelt werden, daß derartige Angaben statthaft sind, da von vielen Autoren übereinstimmend berichtet wird (z.B. TYLER und SHIPE, 1959), daß ein großer Anteil vegetativer Keime, und zwar bei verschiedener Spezies in unterschiedlichem Ausmaß, durch den Sammelvorgang abgetötet wird. Angaben über die Höhe der Verlustquote bei der Prüfung des Bakteriengehalts von Normalluft liegen unseres Wissens nicht vor und sind letztlich mangels geeigneter Nachweisverfahren kaum zu erbringen.

Tabelle 2: Vergleichsbefunde anderer Autoren bei Keimgehaltsbestimmungen in Bakterien-Aerosolen und Normalluft mittels Waschflaschen bzw. Impingern

Keim-sammler	Bakterien-Aerosol				Normalluft			
	Sub-tilis-sporen	Strepto-kokken	Sub-tilis-sporen	Staph. albus				
	*) a	b	c	d	e	f	g	h
EDGEWOOD-Bubbler	0,5							
WHEELER-Bubbler		0,83						
Folin-Bubbler					1 (ca.90%)			
Fritte-Wschfl.						0,2-0,45		
DJAKONOV-Wschfl.			0,92					0,43
MOULTON-Atomizer		1		1 (ca.100%)	1 (ca.90%)			
RETSCHMJENSKIJ-Imp.			1					1
AGI - 4	1 (99%)							
AGI - 30							1	
Kap.-Imp. n. BRONN						1 (93-97%)	0,62	
Kap.-Imp.n. ROSEBURY				0,69				

Die angegebenen Zahlen geben das Verhältnis der Wirksamkeit jeweils zweier Vergleichsgeräte wieder; die in Klammern gesetzten %-Werte bezeichnen die von den jeweiligen Autoren angegebene absolute Keimausbeute eines Luftkeimsammlers.

*) Autoren: a = TYLER und SHIPE, 1959; b = MOULTON u.Mit., 1943; c = KITENKO, 1963; d = ALBRECHT, 1955; e = LEMON, 1943; f = WINDISCH, 1965; g = HURTIENNE, 1967; h = VLODAVEC, 1957.

Was nun die Wirksamkeit von Waschflaschen und Impingern gegenüber Normalluft betrifft, so hat z.B. WINDISCH (1965) mit Hilfe einer einzigen Fritte-Waschflasche nachgewiesen, daß in der Abluft eines Kapillar-Impingers nach BRONN noch 3 - 12 % der insgesamt erfaßten Keime festzustellen waren. HURTIENNE (1967) ermittelte mit ebenfalls einer einzigen nachgeschalteten Waschflasche beim AGI-30 im Höchstfall 0,2 % und beim Kapillar-Impinger nach BRONN bis 1 % der mit dem Erstgerät erfassten Keime. Lediglich LEMON (1943) berichtete über niedrigere Einzelergebnisse der Keimerfassungschance des Folin-Bubblers bis herab auf 71 %. Da die lückenhaften Angaben über die angeblichen Keimerfassungschancen derartiger Luftkeimsammler kein klares Bild von den wirklichen Verhältnissen ermöglichen und es überdies denkbar war, daß ein gewisser Anteil der Luftkeime auch noch einen einzigen Abluft-Keimsammler passieren, haben wir die Abluft einer Fritte-Waschflasche mit 11 hintereinander geschalteten Kapillar-Impingern bzw. Fritte-Durchperlern geprüft, wobei diese Sammler in wechselnder Reihenfolge miteinander verbunden waren. (Wegen der bekanntlich in der kalten Jahreszeit vorliegenden Keimarmut der Luft in Wohnräumen sind diese Versuche großenteils in einem Vorraum des Instituts-Tierstalls vorgenommen worden). In der Tabelle 3 sind die bei insgesamt 8 derartigen Versuchen erhaltenen Ergebnisse wiedergegeben. Bei den jeweils mit dem 1. und 2. Gerät erfassten Keimen findet man stark variierende Relationen von 44 - 90 % : 56 - 10 % (im Mittel 72 : 28 %), ohne daß eine deutliche Beziehung zur Höhe des Erstwertes erkennbar wäre.

Tabelle 3: Quantitative Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels 12 hintereinander geschalteter Fritte-Durchperler (a) und Kapillar-Impinger n. BRONN (b)

Luftdurchflußmenge: jeweils 50 l/h Versuchsraum: Labor. bzw. Tierstall
Versuchsdauer: jeweils 1 Std. Auffang/Kultur-Medium: Nutrient-Agar

Versuch Nr.	Raumluft	Abluft												Keimausbeute-Relation	
		Gerät Nr.													
	1. a	2. b	3. a	4. b	5. a	6. b	7. a	8. b	9. a	10. b	11. a	12. b		Gerät Nr. 1 : 2	Ger.Nr. 1 : 2-12
	Keime/50 l Luft bzw. Abluft														
1	120	17	9	39	27	7	37	3	13	7	8	3		87 % : 13 %	41 % : 59 %
2	119	68	39	9	8	5	22	3	2	4	2	7		64 % : 36 %	41 % : 59 %
3	90	11	17	10	8	4	9	1	7	2	5	2		90 % : 10 %	55 % : 45 %
4	52	18	0	1	4	1	32	7	2	1	7	0		74 % : 26 %	42 % : 58 %
														(im Mittel:	45 % : 55 %)
5	37	47	17	5	13	12	14	18	18	9	10	6		44 % : 56 %	18 % : 82 %
6	22	3	5	14	10	11	11	5	8	1	10	13		88 % : 12 %	19 % : 81 %
7	11	2	6	16	1	6	1	0	3	6	1	1		85 % : 15 %	20 % : 80 %
8	7	8	9	34	11	0	3	0	1	3	1	1		47 % : 53 %	9 % : 91 %
														(im Mittel:	17 % : 83 %
insges.	458	174	102	128	82	46	129	37	54	33	44	33		72 % : 28 %	35 % : 65 %

Außerordentlich große Schwankungen der Keimzahlen waren auch mit zunehmender Anzahl der hintereinander geschalteten Abluftkeimsammler eines Versuchs festzustellen. Bemerkenswert ist hierbei, daß in nicht wenigen Fällen mit einzelnen nachgeschalteten Geräten annähernd gleich große, in einigen Fällen sogar höhere Keimzahlen ermittelt wurden als mit dem ersten. Nur bei einer Summierung der jeweiligen Einzelwerte aller Versuche zeigte sich ein gewisser gesetzmäßiger Trend zur Keimabnahme. Vergleicht man nun jeweils die Keimzahlwerte des 1. Impingers mit den Gesamtkeimbefunden der 11 hintereinander geschalteten Abluft-Sammler, so fallen bei den einzelnen Versuchen wiederum die stark streuenden Relationen auf, die in einem Bereich von 9 - 55 % : 91 - 45 % (im Mittel 35 - 65 %) liegen. Bemerkenswert ist ferner, daß bei den vier ersten Versuchen, die im Tierstall vorgenommen wurden, bei relativ hohem Luftkeimgehalt im Mittel eine Keimzahlrelation von 45 - 55 % bestand, während bei den vier letzten Laborraum-Versuchen bei relativ sehr niedrigen Luftkeimzahlen im Mittel eine Relation von 17 - 83 % vorlag. Möglicherweise äußert sich in diesen unterschiedlichen Relationen ein Zusammenhang zwischen der Keimeinfangkapazität eines Flüssigkeitsdurchperlers und der Höhe des Luftkeimgehalts bzw. damit zusammenhängender Veränderungen der Eigenschaften und Eigenheiten von Luftkeimen. So wäre z.B. denkbar, daß bei einem hohen (autochthonen) Luftkeimgehalt die Bakterien einen relativ hohen Feuchtigkeitsgehalt oder gewisse elektrische Aufladungen u.a.m. besitzen, die ihre Aufnahme in die Auffangflüssigkeit d.h. ihren Nie-

derschlag an die Wandung der Luftbläschen beim Durchperlen begünstigen. Damit bestünden in einiger Annäherung Verhältnisse, wie sie bei künstlichen Aerosolen vorliegen, gegenüber denen nicht nur Impinger-Geräte eine hervorragende Keimeinfangkapazität besitzen. Mit dieser Mutmaßung ist zugleich die Frage angeschnitten, warum bei Abluftprüfungen mit mehreren hintereinander geschalteten Luftkeimsammlern im einzelnen derart differierende Keimzahlen resultieren. Vermutlich ist dies darauf zurückzuführen, daß mit Luftdurchperlern bzw. Impingern vornehmlich hydrophile bzw. hygroskopische Bakterien eingefangen werden, während hydrophobe Keime einer Aufnahme in die Flüssigkeit weitgehend entgehen. Erst mit wachsender Anzahl der Abluftprüfungen d.h. der Wasserdurchperlungen neigen zunehmend auch hydrophobe Keime bzw. Staubpartikel, an denen Bakterien fixiert sind (man denke hier v.a. an Staubpartikel mit anhaftenden kleinsten Ölspuren aus Motorauspuffgasen) zur Aufnahme von Wasser bzw. zur Auflösung, was zum plötzlichen vermehrten Einfang von Bakterien führt. Demzufolge wäre schwerlich abzuschätzen, wie viele hintereinander geschaltete Impinger-Geräte überhaupt notwendig sind, um z.B. einen 99 %-igen Keimeinfang zu gewährleisten.

Aus unseren vorstehend berichteten Ergebnissen darf gefolgert werden, daß bei quantitativen Keimgehaltsbestimmungen von gewöhnlicher Raumluft mittels eines einzigen Luftdurchperlers schätzungsweise nur 5 - 10 % der aeroben Luftbakterien nachweisbar sind. Diese Feststellung steht in deutlichem Gegensatz zu den derzeitigen Anschauungen bzw. den Mitteilungen anderer Autoren.

II. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des Slit-Samplers nach DECKER und WILSON und des ANDERSEN-6-Stufen-Sammlers

Trotz ihrer relativ guten Keimausbeute haben Impinger bzw. Waschflaschen den großen Nachteil, daß sie sehr umständliche und zeitraubende Verfahren darstellen. Demgegenüber besitzen Agar-Impaktoren den großen Vorteil einer primären Kultivierung des Sammelguts auf dem Keimauffang-Medium. Die hierdurch erzielbaren Oberflächenkolonien begünstigen insbesondere qualitative Luftkeimgehaltsbestimmungen. Wegen ihrer relativ einfachen Handhabung und geringen Größe haben der Slit-Sampler nach DECKER und WILSON und der ANDERSEN-6-Stufen-Sammler unter derartigen Luftkeimsammlern eine große Verbreitung gefunden.

SCHIFF und v.ENDE (1967) haben bei Vergleichsversuchen in gewöhnlicher Raumluft festgestellt, daß der russische Schlitz-Sammler von KROTOV und der amerikanische Slit-Sampler nach DECKER und WILSON als gleichwertig anzusehen sind. Außerdem zeigte sich, daß entgegen den Angaben der betreffenden Autoren der optimale Luftdurchfluß beider Geräte nicht bei 1 cbf (= 28,3 l) pro Minute, sondern etwa bei 5 l/min. liegt, da in letzterem Falle die relative Luftkeimausbeute etwa doppelt so groß als in ersterem war. Mit zwei Slit-Samplern nach DECKER und WILSON haben wir diese Bedeutung der Luftdurchflußmenge überprüft, wobei die in vier Serien zu je 20 Versuchen durchgeführten Vergleichsprüfungen bei wechselnder Einstellung von 28,3 l/min. und 5 l/min. vorgenommen wurden. Hierbei liefen beide Geräte bei 28,3 l/min. einheitlich mit der von den amerikanischen Autoren empfoh-

lenen Einstellung der Schlitzbreite (0,15 mm), hingegen bei 5 l/min. einheitlich bei der von uns hierfür als optimal ermittelten Einstellung von 0,4 mm. Die in Tabelle 4 wiedergegebenen Ergebnisse bestätigen, daß bei übereinstimmendem Luftdurchfluß von 28,3 l sowie 5 l/min. die Keimeinfangkapazität beider Geräte erwartungsgemäß gleich ist und bei verschiedenen Luftdurchflüssen bei 5 l/min. ein doppelt so großer Luftkeimgehalt resultiert wie bei 28,3 l.

Auch bei Versuchen mit einem ANDERSEN-6-Stufen-Sammler zeigte sich uns, daß entgegen des vom Hersteller angegebenen optimalen Luftdurchflusses von 1 cbf/min. (ANDERSEN, 1958) ein solcher von 5 l/min. weit günstiger ist. Weil für diese Versuche nur ein einziges ANDERSEN-Gerät zur Verfügung stand, ist als Bezugsgerät gleichzeitig ein Slit-Sampler eingesetzt worden, was zusätzlich einen Vergleich der Wirksamkeit beider Geräte ermöglichte. (Da die im ANDERSEN-Gerät eingebaute Exzenterpumpe vom Hersteller auf einen Luftdurchfluß von 1 cbf/min. fest eingestellt war, ist für die Versuche mit einer Luftdurchflußmenge von 5 l/min. am Abluftschlauch der Luftstrom gedrosselt und mit einem Respirometer nach WRIGHT gemessen worden.) Die bei insgesamt 80 derartigen Vergleichsversuchen erhaltenen Befunde sind in Tabelle 5 wiedergegeben. Es geht daraus hervor, daß bei einheitlichem Luftdurchfluß von 28,3 l/min. der ANDERSEN-Sampler eine etwa 1,6- und bei einheitlich 5 l/min. eine ca. 1,3-mal größere Luftkeimausbeute ergab als der Slit-Sampler. Bei Berücksichtigung der bei letzterem Luftdurchfluß durch den Slit-Sampler erzielbaren doppelten Keimausbeute lassen

Tabelle 4: 80 vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels zweier Slit-Sampler nach DECKER und WILSON bei verschiedenen Luftdurchflußmengen

Luftschlitzbreite: bei 28,3 l/min. jew. 0,15 mm
bei 5 l/min. jew. 0,40 mm
Schlitz-Agar-Abstand: jeweils 3 mm
Versuchsraum: großes Laboratorium
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Auffang/Kultur-Medium: Nutrient-Agar

Versuchs-zahl	Luftdurchfluß Gerät I	Gerät II	Durchschnittl. Keimzahl pro Platte	pro m^3	Keim-ausbeute-Relation
20	28 l/min.		21,5	76	1
		28 l/min.	21,45	76	1
20	5 l/min.		8,7	174	1
		5 l/min.	9,2	184	1,1
20	28 l/min.		37,4	133	1
		5 l/min.	13,6	272	2,1
20	5 l/min.		6,45	129	2
		28 l/min.	18,4	65	1

Tabelle 5: 80 vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels eines Slit-Samplers nach DECKER und WILSON und eines ANDERSEN-Samplers bei verschiedenem Luftdurchfluß

Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Versuchsraum: großes Laboratorium
Auffang/Kultur-Medium: Nutrient-Agar

Versuchs-zahl	Luftdurchfluß AND.-S.	Slit-S.	Durchschnittl. Keimzahl pro Platte	pro m^3	Keim-ausbeute-Relation
20	28 l/min.		61,1	216	1,6
		28 l/min.	38,1	134	1
20	5 l/min.		17,5	350	1,3
		5 l/min.	13,1	262	1
20	28 l/min.		25,3	89	1
		5 l/min.	6,8	136	1,5
20	5 l/min.		9,0	180	2,5
		28 l/min.	20,3	72	1

sich aus diesen Befunden die Keimausbeute-Relationen errechnen, die dem ANDERSEN-Gerät und dem Slit-Sampler bei unterschiedlichem Luftdurchfluß zukommen, nämlich bei Luftdurchflüssen von 28,3 l : 5 l/min. etwa 1 : 1,25 und von 5 l : 28,3 l/min. etwa 2,6 : 1. Die bei jeweils 20 entsprechenden Vergleichsversuchen tatsächlich gefundenen Werte von 1 : 1,5 bzw. 2,5 : 1 stimmen sehr gut mit den rechnerisch abgeleiteten Relationen überein. Diese Übereinstimmung spricht nicht zuletzt für die Zuverlässigkeit derartiger Vergleichsuntersuchungen in gewöhnlicher Raumluft. Aus den in der Tabelle 5 enthaltenen Befunden ergeben sich für einen Vergleich beider Luftkeimsammler bei den beiden verschiedenen Luftdurchflüssen die in Tabelle 6 aufgeführten ungefähren Keimausbeute-Relationen.

Tabelle 6: Keimausbeute-Relationen beim Vergleich des Slit-Samplers nach DECKER und WILSON und des ANDERSEN-Samplers bei Luftdurchflußmengen von 28,3 und 5 l/min.

Luftdurchfluß	28,3 l/min.		5 l/min.	
Gerät	Slit-S.	And.-S.	Slit-S.	And.-S.
Keimausbeute-Relation	1	1,6	2	2,6

Ergebnisse vergleichender quantitativer Luftkeimgehaltsbestimmungen mit dem Slit-Sampler oder ANDERSEN-Gerät einerseits und Impinger-Geräten andererseits sind von einigen Autoren zwar mitgeteilt worden, doch basieren sie lediglich

auf Versuchen mit künstlichen Bakterien-Aerosolen. So haben DECKER, DAHLGREN und HARSTAD (1961) bei Vergleichsprüfungen mit einem Aerosol von T3-Coliphagen zwischen dem All-Glass-Impinger AGI-30 und dem Slit-Sampler eine Ausbeute-Relation von 1 : 0,68-0,75 festgestellt. Andererseits ist von ANDERSEN (1958) berichtet worden, daß bei Versuchen mit Subtilissporen und Serratia marcescens das von ihm entwickelte Gerät eine etwa doppelt so große Keimausbeute erbrachte als der All-Glass-Impinger AGI-4. Ob diese Gerätebeurteilungen auf gewöhnliche Raumluft übertragbar sind, muß bezweifelt werden, da SCHIFF und v. ENDE (1967) nachgewiesen haben, daß in letzterem Falle der dem ANDERSEN-Gerät leicht unterlegene Slit-Sampler nur etwa ein Drittel der Keimausbeute des Kapillar-Impingers nach BRONN erbringt, der bei hoher Luftdurchflussgeschwindigkeit seinerseits wieder dem AGI-4 etwas unterlegen sein dürfte. Demzufolge wäre für einen Vergleich von ANDERSEN-Sampler (bei einem Luftdurchfluß von 1 cbf/min.) und Kapillar-Impinger in gewöhnlicher Raumluft eine Keimausbeute-Relation von etwa 1 : 3,5 zu erwarten.

III. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Agartrommel-Ventilatoren mit Flachdeckel-, Trichterdeckel- und Runddeckel-Verschluss

Bei dem ersten von SCHIFF angegebenen Modell des Agartrommel-Ventilators (ATV), der mit einem Flachdeckel verschlossen war, erwies sich, daß ein 6-flügeliger Ventilator (bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 1000 - 1500 U/min.) eine höhere Keimausbeute erbrachte als ein 3- oder 4-flügeliger. Um den Leistungsgrad eines derart ausgerüsteten Geräts beurteilen zu können, haben wir Vergleichsversuche mit dem Slit-Sampler nach DECKER und WILSON durchgeführt, wobei für beide Geräte eine Luftdurchflussmenge von jeweils 5 l/min. gewählt wurde. Die in nachstehender Tabelle 7 angeführten Befunde von insgesamt 130 Vergleichsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft (großes Laboratorium) zeigen, daß im Durchschnitt die Keimausbeute des ATV-Geräts mit Flachdeckel-Verschluss um das 3,3-fache höher lag als die des Slit-Samplers. Hierbei war der ATV nur in 3 % der Fälle geringfügig schlechter, dagegen in 75 % eindeutig besser als der Schlitz-Sammler. Die stark differierenden Keimzahl-Relationen, die zunehmend bei sich verringernden Keimausbeuten des Slit-Samplers resultierten, könnten möglicherweise auf ein Zerschlagen von Bakterien"trauben" durch den Agartrommel-Ventilator zurückzuführen sein.

Im Bestreben, den Wirkungsgrad des Agartrommel-Ventilators zu steigern, haben wir zunächst den Flachdeckel durch einen trichterförmigen Verschluß ersetzt. Wie aus der Tabelle 8 zu entnehmen ist, war mit dieser Gerätemodifikation im

Tabelle 7: Vergleichende quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels eines Agartrommel-Ventilators (Flachdeckel) und eines Slit-Samplers n. DECKER und WILSON

Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min. Versuchsraum: gr. Laboratorium
Versuchsdauer: jeweils 10 min. Auffang/Kultur-Medium: Nutrient-Agar

	Vergleichsbestimmungen insgesamt	Agartrommel-Ventilator: schlechter	gleich gut bzw. geringfügig besser als Slit-Sampler	2-4 mal besser	5-8 mal besser	9-12 mal besser	mehr als 12 mal besser
	130 (=100 %)	4 (=3 %)	29 (=22 %)	47 (=36 %)	32 (=25 %)	14 (=11 %)	4 (=3 %)
Durchschn. Keimzahl pro Trommel / Platte	11,0 / 3,3	2,3 / 5,0	5,2 / 4,5	11,6 / 4,1	12,3 / 2,0	18,4 / 1,7	18,5 / 1,0
Keimausbeute-Relation: ATV / Slit-S.	3,3 / 1	0,5 / 1	1,2 / 1	2,8 / 1	6,2 / 1	10,8 / 1	18,5 / 1

Tabelle 8: Vergleichende quant. Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels eines Agartrommel-Ventilators (Trichterdeckel) und eines Agartrommel-Ventilators (Flachdeckel)

(Keimzahl-Mittelwerte/Trommel von 30 Vergleichsbestimmungen an 4 Versuchstagen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Ventilator-Rotation: jeweils 1000 U/min.
Auffang/Kulturmedium: Nutrient-Agar

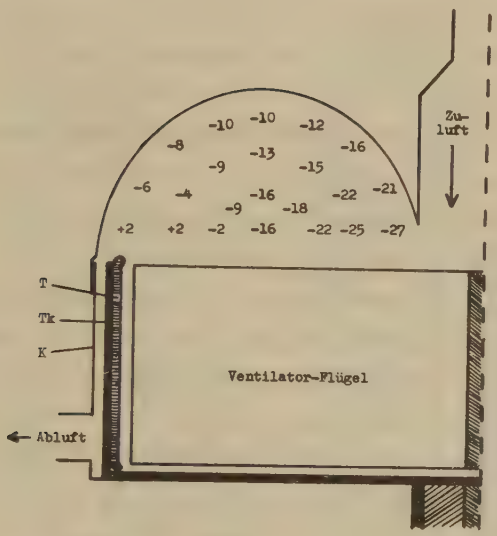
	Vergleichsbestimmungen insgesamt	davon ATV mit Trichterdeckel als ATV mit Flachdeckel: schlechter	gleich gut bis geringfügig besser	2-4 mal besser	5-8 mal besser
	30 (=100%)	8 (=27%)	8 (=27%)	11 (=36%)	3 (=10%)
Keimzahl-Mittelwert pro Trommel ATV-Trichterd. / ATV-Flachd.	14,7 / 8,6	7 / 14,1	11,7 / 9	18,5 / 6	35 / 3,5
Keimausbeute-Relation ATV-Trichterdeckel / ATV-Flachdeckel	1,7 / 1	0,5 / 1	1,3 / 1	3,1 / 1	6,5 / 1

Durchschnitt eine um etwa 70 % höhere Keimausbeute zu erreichen als mit dem ATV-Flachdeckel (das hiesse ca. 5,6 mal mehr als mit obigem Schlitz-Sammler). Wie die Aufgliederung der Befunde jedoch deutlich macht, waren in rund 30 % der Versuche die Ergebnisse schlechter als bei aufgesetztem Flachdeckel. Da es denkbar war, daß diese stark variierenden Keimzahlrelationen mit ungünstigen Luftströmungsverhältnissen im Innern des Ventilator- bzw. Trichterraumes zusammenhängen, verwendeten wir einen kuchenformähnlichen, runden Abschlußdeckel (aus Kunststoff) und zwar in der Vorstellung, daß hierdurch im Rotationsraum ein (mehr oder weniger) partieller Kreislauf der Luftströmung entsteht, wodurch die Keimerfassungschancen sich erhöhen könnten. In dieser Annahme wurden wir bestärkt durch die Ergebnisse von Druckmessungen im Innenraum des Runddeckels.

Hierzu ist ein solcher Deckel an verschiedenen Punkten der Wölbung durchbohrt worden. Durch diese kleinen Öffnungen wurde ein Kapillarrohr (Ø 2 mm) radial zur Deckelwölbung in verschiedenen, mittels Aussenmarkierung gemessenen Tiefen eingeführt. Dieses Rohr war mit einer U-förmigen, mit 96 %-iger Aethanol-Farbstofflösung gefüllten Kapillare (Ø 1 mm) verbunden. Die gegenüber der freien Atmosphäre gemessenen Unter- oder Überdrucke sind in der Abb. 9 in mm angegeben.

Den aus der Abbildung 9 ersichtlichen unterschiedlichen Druckverhältnissen im Innern des Runddeckels zufolge nimmt zentripetal entlang der Wandung der Unterdruck zu, was einen entsprechend gerichteten Luftstrom bewirkt. Demnach wird ein größerer Anteil der verwirbelten Luft mehrmals im Innern des Ventilationsraumes etwa vertikal-kreisförmig bewegt, was offensichtlich zu einem vermehrten Niederschlag von Bakterien an der Agar-Oberfläche führt.

Abbildung 9: Druckmesswerte (mm Alkohol-Säule) im Innenraum des Runddeckels gegenüber freier Atmosphäre bei einem Luftdurchfluss von 5 l/min.



T = Agartrommel
Tk = Trommelkessel
K = Kesselraumgehäuse

Bei insgesamt 60 mittels ATV-Runddeckel und ATV-Flachdeckel durchgeführten Vergleichsuntersuchungen, deren Ergebnisse in Tabelle 9 wiedergegeben sind, zeigte sich, daß ohne größere Streubreite ersteres Gerät dem letzteren um das 1,9-fache überlegen war, wobei in keinem Fall der ATV-Runddeckel

Tabelle 9: Vergleichende quant. Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels eines AT-Ventilators (Runddeckel) und eines AT-Ventilators (Flachdeckel) (Keimzahl-Mittelwerte/Trommel von 60 Vergleichsbestimmungen an 7 Versuchstagen)

Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Versuchsraum: großes Laboratorium
Ventilator-Rotation: jeweils ca. 1000 U/min.
Auffang/Kulturmedium: Nutrient-Agar

	Vergleichs-bestimmungen insgesamt	davon ATV mit Runddeckel als ATV mit Flachdeckel		
		gleich gut bis geringfügig besser	2 - 4 mal besser	5 - 8 mal besser
	60 (=100%)	25 (=42%)	34 (=56%)	1 (=2%)
Keimzahl-Mittelwert pro Trommel ATV-Runddeckel / ATV-Flachd.	17,3 / 9	15,7 / 10,8	19,9 / 8,8	33 / 6
Keimausbeute-Relation ATV-Runddeckel / ATV-Flachdeckel	1,9 / 1	1,4 / 1	2,3 / 1	5,5 / 1

schlechter als der ATV-Flachdeckel war (Häufigkeit der günstigen Fälle = 100 %).

Da ein ATV mit Trichteraufsatz eine etwa 1,7 mal und ein Gerät mit Runddeckel eine etwa 1,9 mal so große Keimausbeute erbringt als ein ATV-Flachdeckel, war zu erwarten, daß bei einer Vergleichsprüfung der beiden ersteren Geräte sich der ATV-Runddeckel ebenfalls am wirkungsvollsten erweist. Die Ergebnisse von 20 derartigen, in der Tabelle 10 aufgeführten Vergleichsversuchen bestätigten dies: Im Durchschnitt sind mit dem ATV-Runddeckel 22,3 Keime und mit dem Trichter-ATV 17,5 pro Trommel erfasst worden; es resultierte also ein Keimzahlverhältnis von etwa 1,3 : 1. Falls die bei vorstehenden Vergleichsuntersuchungen nachgewiesenen Ausbeute-Relationen zwischen ATV-Flachdeckel : Slit-Sampler von 3,3 : 1 und zwischen ATV-Runddeckel : ATV-Flachdeckel von 1,9 : 1 ausreichend fundiert sind, müßte für einen Vergleich von ATV-Runddeckel : Slit-Sampler ein Keimausbeuteverhältnis von etwa 3,3 x 1,9 : 1 = 6,3 : 1 resultieren. Wie die Tabelle 11 zeigt, wurde bei insgesamt 60 entsprechenden Vergleichsuntersuchungen tatsächlich ein Verhältnis von 7 : 1 ermittelt. Bei einem Luftdurchfluss des Slit-Samplers von 28,3 l/min., wie er von amerikanischen Autoren als optimal angesehen wird, würde sich die Überlegenheit des ATV-Runddeckels sogar in einer Ausbeute-Relation von etwa 14 : 1 ausdrücken.

Das gleiche durchschnittliche Keimausbeuteverhältnis von etwa 7 : 1 wurde auch bei einem Tagesversuch ermittelt, bei dem der Keimgehalt eines großen Laborraums halbstündig im

Tabelle 10: Vergleichende quant. Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels eines AT-Ventilators (Runddeckel) und eines AT-Ventilators (Trichterdeckel)

(Keimzahl-Mittelwerte/Trommel aus 20 Vergleichsbestimmungen an 2 Versuchstagen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Ventilator-Rotation: jeweils 1000 U/min.
Auffang/Kulturmedium: Nutrient-Agar (ohne Blut)

	Vergleichsbestimmungen insgesamt	davon ATV mit Runddeckel als ATV mit Trichterdeckel: schlechter	gleich gut bis geringfügig besser	2-4mal besser	5-8mal besser
	20 (=100%)	2 (=10%)	7 (=35%)	10 (=50%)	1 (=5%)
Keimzahl-Mittelwert pro Trommel ATV-Rundd. / ATV-Trichterd.	22,3 / 17,5	18,5 / 48,5	30,6 / 24,6	17,3 / 7,7	21 / 3
Keimausbeute-Relation ATV-Runddeckel / ATV-Trichterdeckel	1,3 / 1	1 / 2,5	1,2 / 1	2,2 / 1	7 / 1

Tabelle 11: Vergleichende quant. Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels eines AT-Ventilators (Runddeckel) und eines Slit-Samplers nach DECKER und WILSON (Keimzahl-Mittelwerte/Trommel bzw. Platte aus 60 Vergleichsbestimmungen an 6 Versuchstagen)

Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Versuchsraum: großes Labor.
Ventilator-Rotation: jeweils 1000 U/min.
Auffang/Kulturmedium: Nutrient-Agar

	Vergleichs-bestimmungen insgesamt	davon ATV mit Runddeckel als Slit-Sampler			
		2-4mal besser	5-8mal besser	9-12mal besser	mehr als 12mal besser
	60 (=100%)	16 (=27%)	17 (=28%)	15 (=25%)	12 (=20%)
Durchschnittl. Keimzahl pro Trommel / Agarplatte	11,5 / 1,6	7 / 2,5	10,5 / 1,8	12,9 / 1,3	17,4 / 0,8
Keimausbeute-Relation ATV-Runddeckel / Slit-Sampler	7 / 1	2,8 / 1	5,8 / 1	10 / 1	21,7 / 1

Zeitraum von 14 Stunden vergleichsweise mittels eines ATV-Runddeckels und eines Slit-Samplers geprüft worden ist. Wie die Abbildung 10 demonstriert, stehen den niedertitrigen Slit-Sampler-Werten recht eindrucksvolle, mit dem ATV-Runddeckel erhaltene Befunde gegenüber. Bemerkenswert sind hierbei insbesondere die im Verlauf von nur 30 Minuten mit dem ATV-Gerät festgestellten Keimgehaltsschwankungen bis zum 8-fachen.

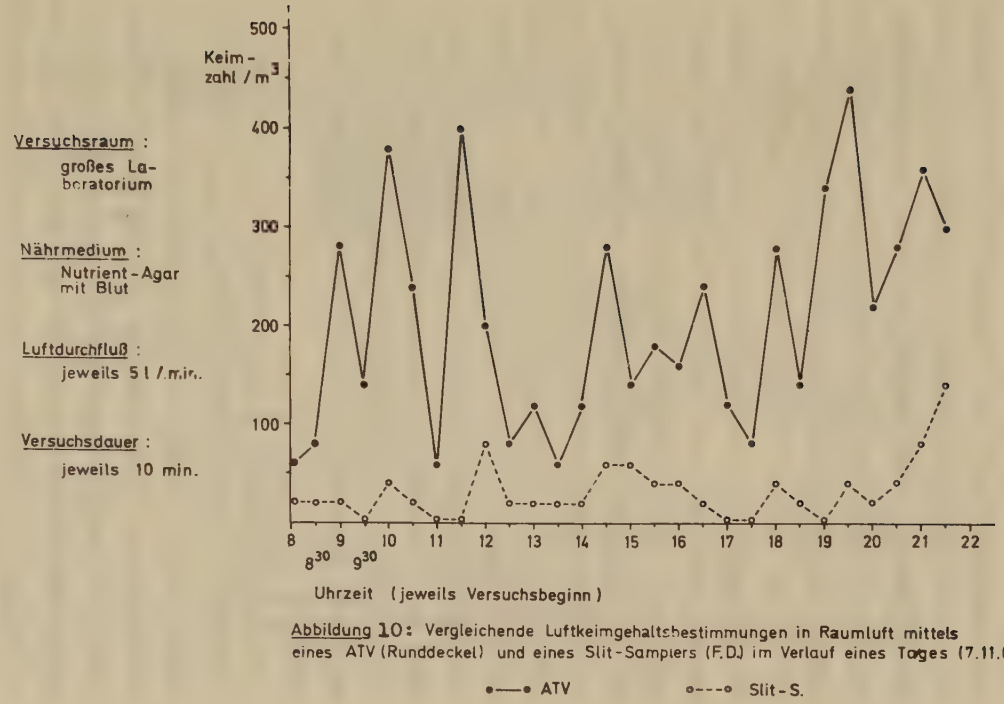


Abbildung 10: Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen in Raumluft mittels eines ATV (Runddeckel) und eines Slit-Samplers (F.D.) im Verlauf eines Tages (7.11.67)

IV. Untersuchungen über die Keimeinfangkapazität des Agartrommel-Ventilators

Im Hinblick auf das dem ATV-Runddeckel zugrundeliegende Funktionsprinzip (vgl. Abb. 9) war mit Sicherheit anzunehmen, daß auch bei diesem überragenden Luftkeimsammler ein schwer kontrollierbarer Anteil der Luftbakterien einer Erfassung entgeht. Den experimentellen Beweis für einen solchen Sachverhalt gaben Abluftprüfungen, die bei einem derartigen Gerät mittels eines zweiten ATV-Runddeckels vorgenommen wurden. Wie der Tabelle 12 zu entnehmen ist, sind bei 35 entsprechenden Versuchen in der Abluft des ATV-Geräts im Mittel noch etwa 40 % der primär festgestellten Keimzahlen, d.h. 29 % der insgesamt ermittelten Keime nachgewiesen worden. Dieses Keimausbeuteverhältnis von 71 % : 29 % zwischen den beiden ATV-Geräten entspricht genau der bei unseren Impinger-Abluftprüfungen für das erste und zweite Gerät erhaltenen Keimeinfang-Relation (s.Tab. 3); es ist daher mit Sicherheit anzunehmen, daß bei Hintereinanderschalten weiterer ATV-Geräte ähnliche Abluft-Keimbefunde nachweisbar wären wie bei den Impinger-Versuchen mit 12 hintereinandergeschalteten Sammlern.

Da der Wirkungsgrad eines Slit-Samplers dem des ATV-Runddeckels um ein mehrfaches unterlegen ist (s.Tab. 11), musste erwartet werden, daß bei Keimgehaltsbestimmungen in der Abluft eines Schlitz-Sammlers mittels eines ATV-Runddeckels ein höherer Keimgehalt nachzuweisen ist als bei vorigen ATV-Abluftversuchen. Dies bestätigte sich, wie voriger Tabelle 12 zu entnehmen ist, bei 20 derartigen Versuchen,

Tabelle 12: Quant.Keimgehaltsbestimmung der Abluft eines ATV (Runddeckel) und eines Slit-Samplers (F.D.) jeweils mittels eines ATV (Runddeckel)

Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Versuchsraum: Großes Laboratorium
Ventilator-Rotation: 1000 U/min.
Auffang/Kulturmedium: Nutrient-Agar (ohne Blut)

Anzahl der Bestimmungen		Raumluft geprüft mittels:	Abluft geprüft mittels:
35		ATV (Runddeckel)	ATV (Runddeckel)
	Keimzahl-Mittelwert/m^3	136	56
	Keimausbeute-Relation	71 %	29 %
20		Slit-S. (F.D.)	ATV (Runddeckel)
	Keimzahl-Mittelwert/m^3	218	206
	Keimausbeute-Relation	51 %	49 %

die beim primären Slit-Sampler und sekundären ATV-Runddeckel im Mittel eine Keimzahl-Relation von 51 % : 49 % ergaben.

Ein weiterer, indirekter Beweis für die - trotz seines guten Wirkungsgrades - mangelnde Keimeinfangkapazität des ATV-Runddeckels wurde durch nachstehend berichtete Versuche erhalten, bei denen das Verhältnis zwischen Versuchsdauer und Keimausbeute untersucht worden ist. Derartige Versuche bei gewöhnlicher Raumluft sind zwar durch den inkonstanten bzw. kurzfristig wechselnden Keimgehalt (vgl. die Tageskurve der Abb. 10) erschwert, doch ist dieser Fehler, wie nachstehende Ergebnisse zeigen, bei geeigneter Versuchsanordnung und grösserer Versuchszahl weitgehend vermeidbar.

Bei insgesamt 6 Doppelversuchen mit jeweils 2 Agartrommel-Ventilatoren sind beim einen Gerät zunehmende Versuchszeiten (5, 10, 20 bzw. 40 min), beim gleichzeitig laufenden zweiten ATV entsprechend abnehmende Zeiten (40, 20, 10 bzw. 5 min) eingehalten worden, so daß nach Ablauf einer Gesamtversuchszeit von 75 min. ein derartiger Doppelversuch beendet war. Hierbei sind die durch ein gemeinsames Rohr entnommenen Luftproben über ein 2-Wege-Verbindungsstück zu gleichen Teilen auf die beiden Geräte verteilt worden. Bei Trommelwechsel, der bei beiden Geräten zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgte, wurde der Luftzufuhrschlauch des betreffenden Geräts abgeklemmt und der Stillstand des Ventilators abgewartet; während dieser Zeit lief das zweite Gerät bei partiell gleichbleibendem Luftdurchfluss weiter.

In der Tabelle 13 sind die bei zu- und abnehmenden Versuchszeiten jeweils erhaltenen Keimzahlen einheitlich geordnet worden und lassen - trotz erheblicher Unterschiede in den Einzelwerten - bei Errechnung der in 75 min. insgesamt erfassten Keime eine gute Übereinstimmung erkennen. Obwohl nur 6 Doppelversuche durchgeführt worden sind, stimmen bemerkenswerterweise jeweils auch die bei zu- bzw. abnehmender

Tabelle 13: Quant.Luftkeimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels zwei ATV (Runddeckel) bei unmittelbar aufeinander folgenden, zunehmenden (⟶) und abnehmenden (⟵) Versuchszeiten.

Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Versuchsraum: Großes Laboratorium
Ventilator-Rotation: jeweils 1000 U/min.
Auffang/Kulturmedium: Nutrient-Agar (ohne Blut)

Versuch Nr.		Keimzahl pro Trommel				
		Versuchsdauer (min.)				Gesamtzeit
		5	10	20	40	(75 min.)
1	⟶	5	9	6	10	= 30
	⟵	3	6	7	9	= 25
2	⟶	3	1	6	7	= 17
	⟵	1	3	5	11	= 20
3	⟶	2	7	11	11	= 31
	⟵	1	8	13	15	= 37
4	⟶	2	10	11	14	= 37
	⟵	4	3	12	19	= 38
5	⟶	6	8	22	43	= 79
	⟵	7	17	19	25	= 68
6	⟶	10	13	12	29	= 64
	⟵	11	9	17	31	= 68
Mittelwert	⟶	4,7	8	11,3	19	43
	⟵	4,5	7,7	12,2	18,3	42,7
Mittelwert pro Trommel, insgesamt		4,6	7,8	11,8	18,7	.
Keimausbeute-Relation		1	1,7	2,6	4,1	.
Mittelwert pro m^3, insgesamt		184	156	118	94	.
Keimausbeute-Relation pro m^3		2	1,7	1,2	1	.

Versuchsdauer errechneten Mittelwerte sehr gut überein. Somit erscheint es statthaft, trotz kurzfristig stark schwankenden Keimgehalts, die bei den verschiedenen Versuchszeiten erhaltenen Gesamtmittelwerte als Ergebnis weitgehend konstanter Gegebenheiten anzusehen. Vergleicht man nun diese bei 5, 10, 20 und 40 min. Versuchsdauer festgestellten Keimzahlmittelwerte (pro Trommel), so ergibt sich, daß statt der theoretisch zu erwartenden Keimzahl-Relationen von 1 : 2 : 4 : 8 eine solche von 1 : 1,7 : 2,6 : 4,1 resultierte. Bei einem 40 min. dauernden Versuch waren also nicht 8-mal, sondern nur etwa 4-mal so viele Keime erfasst worden wie bei einem nur 5 min. dauernden Versuch. Somit war bei 40 min. Versuchsdauer ein Keimausbeute-Defizit von rund 50 % zu verzeichnen. Bei Errechnung der Keimzahlen pro m^3 Luft äussert sich dieser Sachverhalt in entsprechend differierenden Werten, und zwar bei z.B. 5 min. gegenüber 40 min. Versuchsdauer in einer Relation von 1 : 0,5 anstelle von theoretisch 1 : 1. Eine zunehmende Versuchsdauer bewirkt somit bei einem ATV-Gerät, und sicherlich auch bei anderen Agar-Luftkeimsammlern, ein Keimzahl-Defizit, das teils auf eine mit zunehmender Versuchszeit sich vergrössernde Quote nicht erfasster oder auf ein Wiederablösen bereits eingefangener Bakterien, teils auf eine Schädigung (infolge Eintrocknung oder Aufprall) empfindlicher Keime zurückzuführen sein dürfte. Hieraus ist andererseits zu schliessen, daß bei kurz dauernden Luftkeimgehaltsbestimmungen höhere und genauere Werte resultieren (mitbedingt durch einen größeren m^3-Umrechnungsfaktor) als bei länger dauernden. Nicht zuletzt aus

diesem Grunde wählten wir für unsere Untersuchungen im allgemeinen die relativ kurze Versuchszeit von 10 min., was vor allem in keimarmer Luft vorteilhafter ist. Bei sehr keimreicher Luft oder bei Luftkeimsammlern mit hoher Keimeinfangkapazität sind selbstverständlich noch kürzere Versuchszeiten vorzuziehen. Wie hoch aber auch in diesem Falle die tatsächliche Keimverlustquote ist, entzieht sich mangels geeigneter Verfahren dem exakten Nachweis.

V. Versuche zur Steigerung der Luftkeimausbeute des Agartrommel-Ventilators mit Runddeckel

Von apparativen Veränderungen abgesehen kann eine Erhöhung der relativen oder auch absoluten Luftkeimausbeute eines bestimmten Luftkeimsammlers hauptsächlich durch Einhaltung optimaler Luftdurchflussmengen und Versuchszeiten sowie durch Verwendung optimaler Keimauffang- und Kulturmedien erreicht werden. Was die beiden ersten Möglichkeiten betrifft, so kann wohl gesagt werden, daß (von Impinger-Geräten abgesehen) durch möglichst geringe Luftproben und möglichst kurze Versuchsdauer die höchsten und zugleich zuverlässigsten (d.h. der Wirklichkeit am nächsten kommenden) Luftkeimgehaltswerte resultieren. Wo die Grenzen der optimalen Versuchsbedingungen liegen, muß für jeden Gerätetyp empirisch festgelegt werden.

Bereits an früherer Stelle ist darauf hingewiesen worden (s.Kap. II), daß entgegen den originalen Angaben der jeweiligen Erstuntersucher etwa doppelt so hohe Luftkeimgehaltswerte zu erzielen sind, falls beim Slit-Sampler nach DECKER und WILSON oder ANDERSEN-6-Stufen Sammler bzw. beim Schlitz-Sammler nach KROTOV ein Luftdurchfluss von 5 l/min. anstelle von 28,3 l bzw. 20 l/min. beachtet wird. Bei einigen anderen Geräten ist bereits vom funktionellen Prinzip des Keimeinfangs her dem Unterschreiten gewisser Luftstrom-Minimalmengen eine Grenze gesetzt und scheitert z.B. bei Gaswaschflaschen oder Luftdurchperlern bereits am erforderlichen Minimal-Luftdruck zum Herausstossen der im Kapillarrohr be-

findlichen Auffangflüssigkeit. Zudem sind die meisten der z.T. im Gerät eingebauten Luftvolumen- bzw. Geschwindigkeitsmesser zu unempfindlich, um derart geringe Luftströme überhaupt noch bzw. noch genügend genau anzuzeigen.

Bei Vergleichsversuchen mit unseren ATV-Geräten gegenüber anderen Luftkeimsammlern hatten wir bis dahin eine Luftdurchflussmenge von 5 l/min. nicht unterschritten. Da mit dem von uns verwendeten Respirometer nach WRIGHT gerade noch die Messung eines Luftstroms von 1 l/min. möglich ist, verminderten wir schließlich die Luftdurchflussmengen bis herab auf 1 l/min. In der Tabelle 14, in der die Ergebnisse von Vergleichsversuchen mit 3 verschieden großen Luftdurchflussmengen angeführt sind, zeigt sich, daß bei 2 l gegenüber 5 l und bei 1 l gegenüber 2 l/min. eine Steigerung der relativen Keimausbeute um das 1,4- bzw. 1,6-fache zu erzielen ist. Die hieraus für einen Luftdurchfluss von 1 l anstelle von 5 l/min. zu errechnende Gesamtsteigerung um das 2,2-fache (= 1,4 x 1,6) stimmte mit dem experimentell gefundenen Wert überein, wobei sich bei jedem der 10 Versuche die erste Geräteeinstellung als überlegen erwies (Häufigkeit der günstigen Fälle = 100 %). Aufgrund dieser und früherer Befunde (s.Tab. 11) gelten somit für den ATV-Runddeckel und den Slit-Sampler bei verschiedenen Luftdurchflussmengen die in der Tabelle 15 aufgeführten Keimausbeute-Relationen/m^3 Luft. Demnach zeigt der ATV-Runddeckel z.B. bei einem Luftdurchfluss von 1 l/min. einen etwa 30-mal so großen Luftkeimgehalt an als der Slit-Sampler bei einem original angegebenen Luftdurchfluss von 1 cbf/min.

Tabelle 14: Vergleichende quant. Keimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels jeweils 2 AT-Ventilatoren (Runddeckel) bei Luftdurchflußmengen von 5 l, 2 l und 1 l/min.

Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Ventilator-Rotation: jeweils 1000 U/min.
Versuchsraum: Tierstall-Gang
Auffang/Kultur-Medium: Nutrient-Agar

Anzahl der Vergleichs-bestimmungen	Keimzahl	Luftdurchflußmenge/min. (jeweils einheitliche Luftzuführung) 5 l	2 l	1 l
10	Mittelwert/Trommel	37,1	20,7	.
	Mittelwert/m^3	742	1035	.
	Keimausbeute-Relation/m^3	1	1,4	.
10	Mittelwert/Trommel	.	16	13
	Mittelwert/m^3	.	800	1300
	Keimausbeute-Relation/m^3	.	1	1,6
10	Mittelwert/Trommel	60,1	.	26,6
	Mittelwert/m^3	1202	.	2660
	Keimausbeute-Relation/m^3	1	.	2,2

Tabelle 15: Relationen der mittels des ATV-Runddeckels und des Slit-Samplers (F.D.) bei verschiedenen Luftdurchflußmengen erzielbaren Keimausbeuten/m^3 Luft

	ATV-Runddeckel		Slit-S. (F.D.)	
Luftdurchfluß/min.	5 l	1 l	28,3 l	5 l
Relation der Keimausbeuten pro m^3 Luft	7 15	 15 30	 1 1	1 1

Daß eine Verwendung verschiedener Keimauffang- und Kulturmedien zu unterschiedlichen Keimausbeuten führen kann, ist genügend bekannt. Bei unseren Vergleichsversuchen in Laborräumen mit verschiedenen Agar-Luftkeimsammlern ist von uns im allgemeinen stets Nutrient-Agar (Difco) verwendet worden, und zwar in der Vorstellung, daß die hierbei ermittelten Unterschiede in den Keimausbeuten lediglich die Folge eines entsprechend unterschiedlichen Keimeinfangs der Geräte sind, die sich gleichermaßen auch bei der einheitlichen Verwendung eines anderen Nähragarmediums äussern würde. Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht nicht zuletzt die von SCHIFF und KÜHN (noch unveröffentlicht) bei zahlreichen Luftkeimuntersuchungen vom Flugzeug aus getroffene Feststellung, daß bei Verwendung von Nutrient-Agar mit Blutzusatz die Keimausbeuten des ATV-Flachdeckels und des Slit-Samplers im Mittel ebenfalls in einer Relation von 3,3 : 1 stehen (vgl. hierzu Tab.7). Die gleiche Übereinstimmung zeigte sich auch bei unserem mit

dem ATV-Runddeckel und dem Slit-Sampler durchgeführten Tagesversuch, (s. Abb. 10) der bei Verwendung von Nutrient-Blutagar für beide Geräte die gleiche Keimausbeute-Relation erbrachte wie die entsprechenden sonstigen Vergleichsversuche mit Nutrient-Agar ohne Blutzusatz (s. Tab. 11).

Aufgrund des dem Agartrommel-Ventilator zugrundeliegenden Funktionsprinzips, das hauptsächlich auf einem Ausschleuder- bzw. Aufblaseffekt auf eine relativ glatte Agaroberfläche beruht, war es denkbar, daß eine gewisse Klebrigkeit dieser Fläche den Keimeinfang begünstigen würde. Für derartige Versuche haben wir 5 verschiedene indifferente, wasserlösliche und sterilisierbare Klebstoffe (darunter auch Gummi arabicum) verwendet. Günstige Ergebnisse erzielten wir lediglich mit dem Klebstoff G 5004 der Fa. Henkel, wobei im Anschluß an das Giessen der Agartrommeln ein Film von 2 ml einer 0,5 bis 1 %-igen wässerigen Lösung von G 5004, als optimale Konzentration, mittels des Giessgeräts auf die Agartrommeln gebracht worden ist. In der Tabelle 16 sind die bei insgesamt 30 Vergleichsversuchen mit und ohne Zusatz von G 5004 erhaltenen Befunde aufgezeigt. Demnach erhöht sich durch diesen Klebstoff-Oberflächenfilm der Keimeinfang um etwa 30 %. Im Hinblick auf die in der Tabelle 15 aufgeführten Relationen resultiert somit für einen Vergleich des ATV-Runddeckels (Luftdurchfluß 1 l/min.) mit dem Slit-Sampler (bei dem Original angegebenen Luftdurchfluß von 28,3 l/min.) eine Keimausbeute-Relation von 40 : 1.

Tabelle 16: Vergleichende quant. Luftkeimgehaltsbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels ATV-Runddeckel mit und ohne Anwendung eines Agaroberflächen-Klebstoffilms (G 5004)

Luftdurchfluß: jeweils 5 l/min.
Versuchsdauer: jeweils 10 min.
Ventilator-Rotation: jeweils 1000 U/min.
Auffang/Kultur-Medium: Nutrient-Agar
Versuchsraum: Großes Laboratorium

	Vergleichs-bestimmungen insgesamt	davon mit Klebstoff als ohne Klebstoff: schlechter	gleich gut bis geringfügig besser	2 - 4 mal besser
	30 (= 100 %)	7 (= 23%)	18 (= 60 %)	5 (= 17 %)
Keimzahl-Mittelwert / Trommel mit Klebstoff / ohne Klebstoff	10,9 / 8,3	8,3 / 12	11 / 7,8	14 / 4,6
Keimausbeute-Relation mit Klebstoff / ohne Klebstoff	1,3 / 1	1 / 1,5	1,4 / 1	3,1 / 1

D. Besprechung

Die Vielzahl von Luftkeimsammel-Verfahren und -geräten, die seit PASTEURs ersten Luftkeimgehaltsbestimmungen vor etwa 120 Jahren entwickelt worden sind, kennzeichnet am besten die Tatsache, daß die mit derartigen Untersuchungen verbundene außerordentlich große Problematik vorwiegend ein apparatives Problem darstellt. Die bei vorstehenden quantitativen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse lassen den Schluß zu, daß - entgegen den Anschauungen zahlreicher Autoren - es auch gegenwärtig noch nicht möglich ist, den Keimgehalt gewöhnlicher Raumluft auch nur annähernd genau zu bestimmen. Dies hat verschiedene Gründe: So ist der Keimgehalt gewöhnlicher Raum- oder Freiluft sehr starken jahres- und tageszeitlichen Schwankungen unterworfen. Auch liegt offensichtlich keine homogene Verteilung der Biopartikel in der Luft vor, so daß bereits bei kurzfristigen Vergleichsversuchen mit zwei Luftkeimsammlern sehr variierende Keimgehaltswerte erhalten werden können (vgl. Abbildung 10), je nach der Zufallsverteilung der in der Luft enthaltenen Bakterien"wolken", Bakterien-Konglomerate oder an Staubpartikel gebundene Keime. Auch können unterschiedliche physikalisch-chemische Eigenschaften der Luftbakterien und des Luftmilieus sowie des bei verschiedenen Gerätetypen unterschiedlichen Sammelprinzips verschieden stark die Keimausbeute eines bestimmten Luftkeimsammlers beeinflussen. Derartige, im einzelnen wenig oder nicht geklärte Faktoren sind offensichtlich auch die Ursache der von zahlreichen Autoren berichteten Tages-Maxima

und -Minima im Keimgehalt von Raum- oder Freiluft (MIQUEL, 1884; HIRST, 1953; CAMMACK, 1955; PANZER, 1957; GREGORY und STEDMAN, 1958; WOLF u.Mit., 1959); ein Beispiel hierfür sind auch unsere in der Abbildung 10 wiedergegebenen, im Verlauf eines Tages ermittelten Keimgehaltswerte. Ferner bleibt zu bedenken, daß wohl bei jedem (brauchbaren) Luftkeimsammelverfahren eine schwer kontrollierbare Quote der Luftbakterien ihrer Erfassung entgeht; denn diese Quote ist auch nicht durch Abluftprüfungen exakt bestimmbar, da hierfür ebenfalls nur unvollkommene Sammelgeräte Verwendung finden können. Schließlich wird bei vielen Geräten durch den Sammelvorgang selbst ein unbestimmbarer Anteil der Luftbakterien abgetötet, sei es durch Aufprall (v.a. beim Impingerverfahren), sei es durch Austrocknung oder Adsorption (v.a. bei Luft-Trockenfiltern und Agar-Impaktoren).

Angesichts solcher experimenteller Schwierigkeiten führen die meisten Autoren zwecks Prüfung und Vergleich der Leistungsfähigkeit von Luftkeimsammlern Untersuchungen mit künstlichen Bakterien-Aerosolen durch und zwar in der Vorstellung, daß die hierbei erhaltenen Ergebnisse direkt auf die Verhältnisse in normaler Raum- oder Freiluft übertragbar sind. Ohne Zweifel ist dem aber nicht so, denn auch in einer Aerosolkammer bestehen keine wohl definierten bzw. definierbaren bakteriologischen Verhältnisse. So ist von ANDERSON und COX (1967) hierzu folgendes festgestellt worden: "Such studies have shown that the effects of growth medium, method of growth and metabolic state of the organisms are super-

imposed upon that of species and strain. The nature of the atmospheric environment, including its relative humidity, composition and temperature, can be crucial. Elektromagnetic radiation can reduce the survival of microbial aerosols. Results are also influenced by other conditions such as choice of spray fluid and the time and manner of collection. No simple relationship exists between the degree of survival and time of storage in the aerosol. For fragile organisms the effect of collecting device, and the nature and osmotic pressure of the collecting fluid can be of paramount importance." "Many different collecting devices have been designed because no single sampling method can provide all the information required for studies of aerosols. Loss of viability can occur during or after sampling, and its extent is likely to depend upon the sampling procedure." Über diese Feststellung hinaus sei darauf hingewiesen, daß derartige Aerosol-Versuche meist nur mit einer einzigen Bakterienspecies oder einer Mischung von nur wenigen Species vorgenommen werden, deren Aerosolisierung verschiedene Manipulationen erfordert (Herstellung von Bakterien-Trockenmasse, Resuspendierung und Versprühung), so daß kaum ein Vergleich mit den in gewöhnlicher Raum- oder Freiluft vorkommenden, auf natürliche Weise entstandenen, sehr speziesreichen Luftbakterien möglich ist. Zudem ist die Lebensdauer künstlich aerosolisierter Bakterien, insbesondere vegetativer Formen, z.T. sehr kurz, vor allem bei Temperaturen über 30°C oder gar bei Sonneneinwirkung (MAY, 1966); selbst aerosolisierte Suspensionen von Bazillensporen haben eine relativ

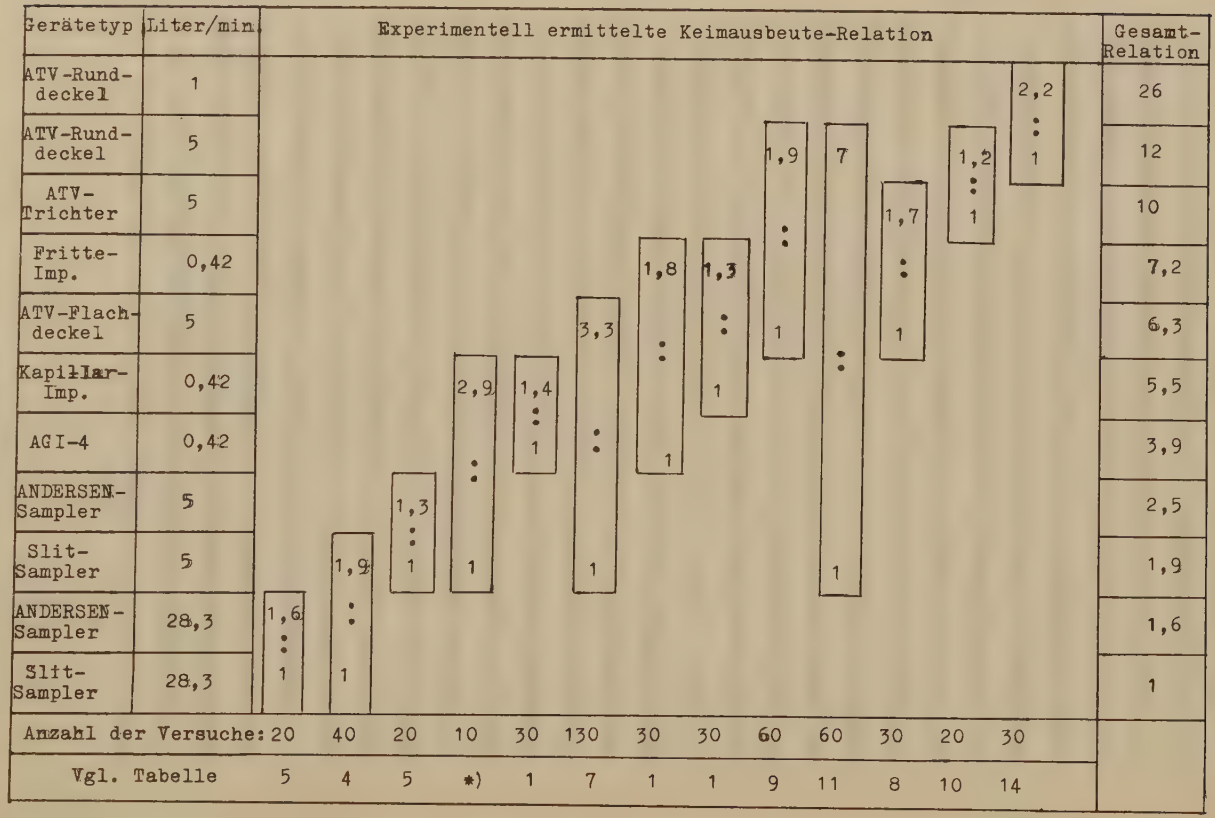
große Absterberate. Es ist somit nicht verwunderlich, daß auch bei zeitgleichem Vergleich verschiedener Geräte, insbesondere solcher verschiedenen Funktionstyps, Resultate erhalten werden, die mit den Ergebnissen entsprechender Versuche in gewöhnlicher Raumluft nicht übereinstimmen (vgl. S. 19 ff.). Die gleichen Einwendungen gelten den mittels Aerosolkammer-Versuchen ermittelten Optimalwerten für Luftdurchflussmenge oder sonstige apparative Einstellungen. Es ist somit z.B. erklärlich, daß unseren Untersuchungen in gewöhnlicher Raumluft zufolge für den Slit-Sampler nach DECKER und WILSON oder den ANDERSEN-6-Stufen-Sammler andere optimale Luftdurchflussmengen resultierten, als von den amerikanischen Autoren angegeben worden sind (s.S. 26). Ähnlich fragwürdig erscheinen auch die meist auf Aerosolversuchen basierenden prozentualen Angaben über absolute Keimerfassungschancen von Luftkeimsammlern, da offensichtlich aerosolisierte Bakterien von den verschiedenartigsten Sammelgeräten weit besser erfasst werden als die Bakterien gewöhnlicher Luft und somit Aerosol-Abluftuntersuchungen zwangsläufig weit weniger ergiebig und zugleich weit zuverlässiger sein müssen (vgl. S. 20). Als deutlichen Hinweis für einen solchen Sachverhalt möchten wir die aus unseren Waschflaschen-Abluftversuchen abgeleitete Auffassung ansehen, daß z.B. von Luftdurchperlern vornehmlich hydrophile Bakterien eingefangen werden (s. S.26). Ganz allgemein kann daher gesagt werden, daß derart ermittelte Daten über die Keimeinfangkapazität eines Luftkeimsammlers nicht für gewöhnliche Raum- oder Frei-

luft zutreffen und meist (in unbekanntem Ausmass) zu hoch sind. Für die Richtigkeit dieser Auffassung spredhen nicht zuletzt die Ergebnisse von Abluftprüfungen, die wir mittels 11 hintereinandergeschalteten Luftdurchperlern in Normalluft erhielten (s. Tab. 3): So betrug die mit einem einzigen derartigen Gerät erfassbare Quote schätzungsweise nur 5 bis 10 % der gesamten Luftbakterien (s.S. 26), während zahlreiche Autoren aufgrund von Aerosolversuchen für Bubbler und Impinger absolute Keimerfassungswerte von etwa 50 % bis (meistens sogar) annähernd 100 % angegeben haben. Zudem ist hinsichtlich letzterer Angaben einzuwenden, insbesondere falls sich diese auf Raumluftversuche beziehen, daß eventuelle Abluftprüfungen fast ausschließlich nur mit einem einzigen Luftkeimsammler vorgenommen worden sind. (s.S.23).

Vorstehenden Überlegungen zufolge setzt ein gültiger Vergleich der Leistungsfähigkeit von Luftkeimsammlern Vergleichsversuche in gewöhnlicher Raum- oder Freiluft voraus. (Um hierbei einigermaßen allgemein verbindliche Vergleichswerte zu erhalten, ist auf einem internationalen Symposium für Aerobiologie (1963) die Mitverwendung von Standardbezugsgeräten (AGI-30 und stacked sieve sampler) vorgeschlagen worden (BRACHMAN, 1964). In keinem Falle gestatten aber derartige quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen eine genaue Aussage über die tatsächliche Höhe des (durchschnittlichen) Keimgehalts der untersuchten Luft. Es kann lediglich behauptet werden, daß bei Vergleichsversuchen der mit irgend einem Gerät ermittelte Höchstwert der Wirklichkeit am nächsten kommt.

Bei unseren vorstehend berichteten Versuchen mit zahlreichen Luftkeimsammlern verschiedenen Funktionstyps ist als Bezugsgerät bevorzugt der Slit-Sampler nach DECKER und WILSON benutzt worden. Durch die Verwendung eines gemeinsamen Luftentnahmerohrs und gleichmäßige Verteilung der Luftproben über einen 2- oder 3-Wegeverteiler auf die einzelnen Geräte ist nach Möglichkeit versucht worden, gleiche Versuchsbedingungen herzustellen. Für die Zuverlässigkeit der hierbei erhaltenen Vergleichswerte (hierbei sind möglichst nur solche Ergebnisse berücksichtigt worden, bei denen der Keimgehalt der jeweils untersuchten Raumluft keine Extremwerte auswies) spricht die Tatsache, daß die einzelnen Vergleichszahlen in bemerkenswert gute Übereinstimmung zu bringen waren (vgl. z.B. Tab. 1, 4, 5, 6, 11 und 15), so daß in nachstehender Tabelle 17 die jeweiligen Einzelvergleichswerte in eine gültige Gesamtrelation zueinander gebracht werden konnten. Aus dieser tabellarischen Übersicht geht hervor, daß auch ohne eingehende statistische Berechnungen ein zuverlässiger Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Luftkeimsammler möglich ist. Diesen Ergebnissen zufolge ist der von SCHIFF angegebene Agartrommel-Ventilator bei einem Luftdurchfluß von 1 l/min. den übrigen Sammelgeräten eindeutig überlegen. Würde man in diese Vergleichstabelle den von uns nicht mitgeprüften und von BRACHMAN (1964) als überaus leistungsfähig beurteilten Standard-Impinger AGI-30 einordnen, so würde dieser (aufgrund von Vergleichsversuchen, die von DECKER und PHILLIPS mit dem Kapillar-Impinger nach BRONN durchgeführt worden sind - persönl. Mitt. an SCHIFF (1968)) etwa dem ATV-Runddeckel bei

Tabelle 17: Vergleich der Keimausbeute-Kapazität der von uns untersuchten Geräte



*) SCHIFF, v. ENDE (1967)

einem weniger optimalen Luftdurchfluß von 5 l/min. gleichzusetzen sein. Trotzdem besteht kein Zweifel, daß auch bei dem überragenden Agartrommel-Ventilator ein erheblicher, im einzelnen schwer bestimmbarer Anteil der Luftbakterien seiner Erfassung entgeht. Hierfür sprechen nicht nur durchgeführte Abluftversuche (s.S. 45) sondern vor allem die mangelnde Proportionalität zwischen ermittelter Keimzahl und Versuchsdauer (s. Tab. 13) bzw. Luftdurchflussmenge (s. Tab. 14). Es darf daher mit Sicherheit angenommen werden, daß die mit dem ATV-Gerät und vor allem mit sonstigen Luftkeimsammlern ermittelten Keimzahlen weit unter den tatsächlichen Werten liegen. Gerade in diesem Zusammenhang erscheint die von PETRAS (1966) mitgeteilte Erfahrung besonders erwähnenswert, wonach der mittels eines modifizierten Luftfilter-Verfahrens und anschliessender Fluoreszenz-Mikroskopie nachgewiesene Keimgehalt der Normalluft (allerdings unter Einschluß abgestorbener Bakterien) 1000 bis 10.000 mal höher lag als die mittels eines Impingers festgestellten Keimzahlen.

Abschließend sei bemerkt, daß der vor kurzem weiterentwickelte Agartrommel-Ventilator noch eine 4 mal größere Keimausbeute ergibt und somit z.B. dem Slit-Sampler nach DECKER und WILSON (bei einem Luftdurchfluss von 1 cbf/min.) in einer Relation von etwa 100 : 1 überlegen ist.

E. Zusammenfassung

Bei grundlegenden und vergleichenden quantitativen Luftkeimbestimmungen in gewöhnlicher Raumluft mittels verschiedener Luftkeimsammler sowie bei der Entwicklung eines neuen Sammelgeräts, des sog. Agartrommel-Ventilators sind im wesentlichen folgende Erfahrungen gemacht und folgende Ergebnisse erzielt worden:

1. Bei den von zahlreichen Autoren für die Bestimmung und den Vergleich der Leistungsfähigkeit von Luftkeimsammlern herangezogenen Aerosolkammer-Versuche resultieren Werte, die nicht auf die in gewöhnlicher Raum- oder Freiluft bestehenden Verhältnisse übertragbar sind. Die gleiche Einwendung gilt für die Beurteilung der Ergebnisse entsprechender Keimgehaltsbestimmungen in der Abluft eines Luftkeimsammlers.

2. An einen optimalen Luftkeimsammler ist die Forderung zu stellen, daß eine direkte Proportionalität besteht zwischen Keimausbeute und Luftdurchflußmenge sowie zwischen Keimausbeute und Versuchsdauer. Beide Bedingungen gleichzeitig werden von keinem Sammelgerät erfüllt.

3. Im Gegensatz zu den von anderen Autoren gemachten Angaben über eine 50 - 100 %-ige Erfassung von Luftbakterien durch Bubbler oder Impingergeräte wurde mittels 12 hintereinander geschalteter Luftdurchperler nachgewiesen, daß durch einen einzigen derartigen Luftkeimsammler schätzungsweise nur 5 - 10 % der aerob innerhalb von zwei Tagen auf Nähragar (Nutrient, Difco) bei 37°C kultivierbaren Luftbakterien erfaßt werden.

4. Mit keinem der heutigen Luftkeimsammler ist eine genaue Aussage über die tatsächliche Höhe des Keimgehalts gewöhnlicher Raum- oder Freiluft möglich. Es kann lediglich behauptet werden, daß bei Vergleichsversuchen der mit irgend einem Gerät ermittelte Höchstwert der Wirklichkeit am nächsten kommt.

5. In zahlreichen zeitgleichen quantitativen Vergleichsuntersuchungen mit insgesamt 8 verschiedenen Luftkeimsammlern (3 Bubbler bzw. Impinger, 2 Agar-Impaktoren und 3 Modifikationen eines neu entwickelten Agartrommel-Ventilators) erwies sich das von SCHIFF angegebene ATV-Gerät allen Geräten eindeutig überlegen. So war z.B. die mit diesem Gerät erzielte Keimausbeute im Durchschnitt etwa 25 bzw. 15 bzw. 5 mal größer als die des Slit-Samplers von DECKER und WILSON, des ANDERSEN-6-Stufen-Sammlers oder des Kapillar-Impingers nach BRONN.

F. Literatur

ALBRECHT, J.: Zur quantitativen Bestimmung von Luftkeimen; Arch. Hyg. 139 (1955), 109.

ALBRECHT, J.: Die Verwendung von Membranfiltern zum Nachweis von Luftkeimen; Arch. Hyg. 141 (1957), 210.

ANDERSEN, A.A.: New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles; J. Bact. 76 (1958), 471.

ANDERSEN, A.A.: A monitor for airborne bacteria; Appl. Microbiol. 10 (1962), 181.

ANDERSON, J.D. und COX, C.S.: 1967, zit. n. GREGORY,P.H. und MONTEITH, J.L.(1967).

APPERT: 1810, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

BERRY, C.M.: An electrostatic method for collecting bacteria from air; Publ. Hlth. Rep. (Wash) 56 (1941), 2044.

BOURDILLON,R.B. LIDWELL,O.M. und THOMAS,J.C.: A slit-sampler for collecting and counting airborne bacteria; H J. Hyg.(Cambr.) 41 (1941), 197.

BRACHMAN,P.S.: Standard sampler for assay of airborne microorganisms; Science,144 (1964),1295.

BUFFON: 1749, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

BULLER, A.H.R. und LOWE, C.W.: Upon the number of microorganisms in the air of Winnipeg; Trans. Roy. Soc. Can. 4 (1911), 41.

du BUY, H.G., und CRISP, L.R.: A sieve device for sampling airborne microorganisms; Publ. Hlth. Re. 59 (1944), 829.

du BUY, H.G., HOLLAENDER, A. und LACKEY, M.D.:	A comparative study of sampling devices for airborne microorganisms; Publ. Hlth. Rep. Supp. 184 (1945), 40.
CAMMACK:	1955, zit, n. GREGORY, P.H. und MONTEITH, J.L. (1967).
COHN, F.:	Rede in der dritten allgemeinen Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Breslau; Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 1 (1874), 147.
COWN, W.B., KETHLEY, T.W. und FINCHER, E.L.:	The critical orifice liquid impinger as a sampler for bacterial aerosols; Appl. Microbiol. 5 (1957), 119.
DAHLGREN, C.M., DECKER, H.M. und HARSTAD, J.B.:	A slit-sampler for collecting T-3 bacteriophage and venezuelan equine encephalomyelitis virus; Appl. Microbiol., 9 (1961), 103.
DECKER, H.M., KUEHNE, R.W., BUCHANAN, L.M. und PORTER, R.:	Design and evaluation of a slit-incubator-sampler; Appl. Microbiol., 6 (1958), 398.
DECKER, H.M. und WILSON, M.E.:	A slit-sampler for collecting airborne microorganisms; Appl. Microbiol., 2 (1954), 267.
DJAKONOV:	zit. n. VLODAVEC (1959)
FALKE, H.:	1949, zit. n. GRUNDMANN, W. (1952).
FICKER, M.:	Zur Methodik der bakteriologischen Luftuntersuchung; Zschr. Hyg. 22 (1896), 32.
FRANKLAND, P.F.:	A new method for the quantitative estimation of the microorganisms present in the atmosphere; Philos. Trans. Roy. Soc. Lond., 178 (1887), 113.
FREUDENREICH:	1884, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

FREY, C.N., und KRITT, G.W.:	Studies of spore dissemination of venturia inaequalis; J. Agric. Res., 30 (1925), 529.
GAULTIER de GLAUBRY:	1832, zit. n. PETRI, R.J. (1888).
GAY LUSSAC:	1810, zit. n. PETRI, R.J. (1888).
GORTZ, A.:	Application of molecular filter membranes to the analysis of aerosols; Am. J. Public Health, 43 (1953), 150.
GORDON, M.A., und BOY, F.M.:	Large scale biological air-sampling with the venturi-scrubber; Bacteriol. Proc., 26 (1953).
GREENBURG, L. und BLOOMFIELD, J.J.:	The impinger dust sampling apparatus as used by the U.S. Public Health Service; Publ. Hlth. Rep., 47 (1932), 654.
GREENBURG, L. und SMITH, G.W.:	A new instrument for sampling aerial dust; Bureau of Mines. Reports of Investigations, 2392 (1922), 3.
GREGORY, P.H.:	The microbiology of the atmosphere; Plant Science Monographs, Lond. (1961).
GREGORY, P.H.:	Electrostatic charges on spores of fungi in air; Nature, 180 (1957), 330.
GREGORY, P.H.:	The construction and use of a portable volumetric spore trap; Trans. Brit. Mycol. Soc., 37 (1954), 390.
GREGORY, P.H. und MONTEITH, J.L.:	Airborne microbes; 17. Symposium of the Society for General Microbiology, (1967).
GRUNDMANN, W.:	Der Keimgehalt der Luft und seine Messung; Annalen der Meteorologie, Heft 3-5, (1952), 72.
GUTTON, H.J., BUCHANAN, L.M. und LENSE, F.T.:	Evaluation of respiratory protection of contagion mask; Appl. Microbiol., 4 (1956), 141.

HALL, L.B. und DECKER, H.M.:	Procedures applicable to sampling of the environment for hospital use; Am. J. Public Health, 50 (1960), 491.
HAMMOND, E.C.:	Ammonium alginate wool as a filter for collecting microorganisms from large volumes of air; J. Gen. Microbiol., 19 (1958), 267.
HARRIS, W.B. und EISENBUD, M.:	Dust sampler, which simulates upper and lower lung deposition; A.M.A. Indust. Hyg. Occup. Med., 8 (1953), 446.
HENDERSON, D.W. und WOODS, M.:	1942, zit. n. TYLER, M.E. und SHIPE, E.L. (1959).
HESSE, W.:	Über quantitative Bestimmung der in der Luft enthaltenen Mikroorganismen; Mitth. d. Kaiserlichen Gesundheitsamtes, Nr.2, (1884), 182.
HIRST, J.M.:	1953, zit. n. GREGORY, P.H. und MONTEITH, J.L. (1967).
HOLLAENDER, A. und DALLA VALLE, J.M.	A simple device for sampling airborne bacteria; Publ. Hlth. Rep., 54 (1939), 574.
HOLLAENDER, A. und LACKEY:	1945, zit. n. du BUY u. Mit. (1945).
HURTIENNE, H.	Diss. Med. Vet., Berlin (1967).
JONES, W.P.:	Developement of the venturi scrubber; Indust. Engin. Chem. 41 (1949), 2424.
KAJIWARA und SAMORI:	1957, zit. n. VLODAVEC, V.V. (1958).
KETHLEY, T.W., GORDON, M.T. und ORR, C.:	A thermal precipitator for aero-bacteriology; Science, 116 (1952), 368.
KETHLEY, T.W., COWN, W.B. und FINCHER, E.L.:	The nature and composition of experimental bacterial aerosols; Appl. Microbiol. 5-6 (1957/8), 1.

KITENKO, W.S.: Vergleichende Beurteilung der Wirkung von Bakterienabscheidern bei Konzentrationsbestimmungen von bakteriellen Aerosolen; Gigiena sanitaria, 28 (1963), 45.

KOCH, R.: 1881, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

KROTOV, J.A.: Nekotorye voprosy gigieny lecebynch ucrezdenij (1957), 50.

KRUSE, H.: Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Keimgehalts der Luft; Gesd.-Ing., 69 (1948), 199.

KUEHNE, R.W. und DECKER, H.M.: Studies on continuous sampling of Serratia marcescens using a slit-sampler; Appl. Microbiol., 5 (1957), 321.

KUEHNE, R.W. und GOCHENOUR, W.S.: A slit-sampler for collecting T-3 bacteriophage and venezuelan equine encephalomyelitis virus; Appl. Microbiol., 9 (1961), 106.

LEMON, H.M.: A method for collecting bacteria from air; Exper. Biol. Proc., 53-54 (1943), 298.

LIDWELL, O.M.: Slit-sampler for long period sampling of air for bacteria; Lancet, 1 (1950), 130.

LIDWELL, O.M. und NOBLE, W.C.: A modification of the ANDERSEN-sampler for use in occupied environments; J. Appl. Bact., 28 (1965), 280.

LUCKIESH, M. TAYLOR, A.H. und HOLLADAY, L.L.: Sampling devices for airborne bacteria; J.Bact., 52 (1946), 55.

MACHALA, O. und SPURNY, L.: Zur Detektion der mikrobiellen Aerosole mit der Membranfilter-Methode; Zbl. Biol. (Aerosol-Forsch.), 12 (1965), 519.

MAGILL, P.L., ROYLSTON, M., Mc LEOD, J.A. und CADLE, R.D.: 1950, zit. n. TYLER, M.E. und SHIPE, E.L. (1959).

MAY, K.R.: Multistage liquid impinger; Bact. Rev., 20 (1966), 559.

MAY, K.R. und DRUETT, H.A.: The pre-impinger: a selective aerosol-sampler; Brit. J. Indust. Med., 10 (1953), 142.

MIQUEL, P.: Des poussières organisées tenues en suspersion dans l'atmosphère; Compt. rend. Acad. sc., 86 (1878), 1552.

MITCHELL, R.B. und PILCHER, J.M.: Improved cascad impactor for measuring aerosol particle sizes; Chemistry and Chemical Engineering, 51 (1959), 1039.

MITCHELL, R.B., TIMMON, D.E. und DORRIS, H.W.J.: Studies on microorganisms of the upper atmosphere; J.Aviation Med., 22 (1951), 214.

MITCHELL, R.B., FULTON, J.D. und ELLINGSON, H.V.: A soluble gelatin-foam sampler for air-borne microorganisms at surface levels; Am. J. Publ. Health, 44 (1954), 1334.

MORRIS, E.J., DARLOW, H.M., PEEL, J.F.H. und WRIGHT, W.C.: The quantitative assay of mono-dispersed aerosols of bacteria and bacteriophage by electrostatic precipitation; J. Hyg. (Camb.), 59 (1961), 487.

MOULTON, S., PUCK, T.T. und LEMON, H.M.: An apparatus for determination of the bacterial content of air; Science, 97 (1943), 51.

NEEDHAM: 1745, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

NOLLER, E. und SPENDLOVE, J.C.: An appraisal of the soluble gelatin-foam-filter as a sampler for bacterial aerosols; Appl. Microbiol., 4 (1956),300.

OESTERLE, P.: Abfilterung von Keimen mittels suspendierbarer Salzfilter; Arch. Hyg., 113 (1934), 137.

PANZER 1957, zit. n. GREGORY, P.H. und MONTEITH, J.L. (1967).

PADY, S.M.: A continuous spore sampler; Phytopathology, 49 (1959), 757.

PASTEUR, L.: Experiences relatives aux generations dites spontanees; Compt. rend. Acad. sc., 50 (1860), 303.

PETRAS, E.: Zum Problem der Bestimmung des Gesamtkeimgehalts der Luft; "Beispiele angewandter Forschung", (1966/7), Jahrbuch der Fraunhofer-Gesellschaft.

PETRAS, E.: Zur Isolierung von Luftkeimen mittels feinporiger Filter; Arch. Mikrobiol., 55 (1966), 93.

POLUNIN, N., PADY, S.M. und KELLY, C.D.: 1952, zit. n. GREGORY, P.H. (1961).

PETRI, R.J.: Eine neue Methode Bakterien und Pilzsporen in der Luft nachzuweisen und zu zählen; Zschr. Hyg., 3 (1888), 1.

REIFFERSCHEID, H.: Probleme und Ergebnisse zum Keimgehalt der Luft; Experimentia Suppl. 13, Sonderdruck 1967, 109.

RETSCHMJENSKIJ, S.S.: Das Abfangen von Luftbakterien mit einem Zerstäubergerät (russ.); Zurnal microbiologii epidemiologii i immunologii, 12 (1952), 60.

RETTGER, L.F.: A new and improved method of enumerating air bacteria; J.Med. Res., 22 (1910), 461.

RICHARDS, M.: A water soluble filter for trapping airborne microorganisms; Nature, 176 (1955), 559.

ROSEBURY, T.: Experimental airborne infection; Microbiol. Monogr. (Baltimore), (1947), 19.

SAFIR, A.I.: 1945, zit. n. VLODAVEC, V.V. (1959).

SADDLINGTON: 1807, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

SAWYER, K.F. und WALTON, W.H.: The conifuge - a size separating sampling device for airborne particles; J. Sci. Instr., 27 (1950), 272.

SCHIFF, W.: 1966, noch unveröffentlicht.

SCHIFF, W. und v.ENDE, V.: Diss. med., Marburg (1967).

SONKIN, L.S.: Application of the cascade impactor to studies of bacterial aerosols; Am. J. Hyg., 51 (1950), 319.

SPALLANZANI: 1765, zit. n. PETRI, R.J. (1888).

STEDMAN: 1958, zit. n. GREGORY, P.M. und MONTEITH, J.L. (1967).

SUJKOVA, E.J.: Filtrieren als Methode zur Reinigung der Luft von Mikroben (russ.); Labor. delo., 2 (1959), 35.

TYLER, M.E.,und SHIPE, E.L.: Bacterial aerosol samplers (a, b und c), Appl. Microbiol., 7 (1959), 337.

VANINI, G.C.: 1958, zit. n. VLODAVEC, V.V. (1959).

VLODAVEC, V.V.: Vergleichende Darstellung der Methoden zur bekteriologischen Erforschung der Luft in geschlossenen Räumen (russ.); Gigiena i sanitarija, 1 (1957), 51.

VLODAVEC, V.V.: Moderne Methoden der bakteriologischen Luftforschung (russ.); Zh. Mikrobiol., 30 (1959), 48.

VLODAVEC, V.V., GAIDAMOWITSCH, S.J., und OBUCHOWA, W.R.: Der beim Sammeln von Grippeviren mit dem DJAKONOV-Apparat und mit löslichen Filtern aus Gelatine-Schaum erzielte Effekt (russ.); Vop. Virosol., 4 (1959), 396.

VLODAVEC, V.V.: Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Lebensfähigkeit von Mikroorganismen im Aerosol (russ.); Mikrobiologija, 31 (1962).

WELLS, W.F.: Apparatus for study the bacterial behaviour of air; Am. J. Publ. Health, 23 (1933), 58.

WELLS, W.F. und CRUMB, C.: Air sampling performance; J. Bact., 2 (1947), 277.

WELLS, W.F.: Airborne contagian and air hygiene; Harvard Univ. Press, Camb. Mass. (1955).

WHEELER: 1941, zit. n. MOULTON u. Mit. (1943).

WERSCHIGORA: 1956, zit. n. VLODAVEC, V.V. (1959).

WILCOX, J.D.: Design of a new five-stage cascade impactor; Arch. Indust. Hyg. Occ. Med., 7 (1953), 376.

WINDISCH, S.: Möglichkeiten und Grenzen der Luftkeimanalyse mit dem Kapillar-Impinger nach BRONN; Zbl. Bakt. I., Orig., 198 (1965a), 89.

WINDISCH, S.: Methoden, Leistungsfähigkeit und Beurteilung von mikrobiologischen Luftanalysen; Mikrobiol. Abt. d.Inst. f. Gärungsgewerbe, Berlin (1965b), 96.

WINSLOW, C.A.: A new method of enumerating bacteria in air; Science, 28 (1908), 28.

WOLF, H.W., SKALIY, P., HALL, L.B., HARRIS, M.M., DECKER, H.M., BUCHANAN, L.M. und DAHLGREN, C.M.: Sampling microbiological aerosols; Publ. Health Monograph, 60 (1959).

Herrn Oberarzt Dr. med. W. SCHIFF danke ich für die Überlassung des Themas und die uneingeschränkte Bereitschaft, meine Arbeit durch Ratschläge und Diskussionen anzuleiten und zu fördern.

Herrn Professor Dr. med. R. SIEGERT danke ich für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes.

Herrn Ing. A. REUTER danke ich für die Beratung in technischen Problemen und der Belegschaft des Aerobiologischen Labors für die Mithilfe bei der Durchführung von Versuchen.

Die Untersuchungen sind von der Fraunhofer Gesellschaft, München, unterstützt worden.

Lebenslauf

Am 24. Juni 1940 wurde ich als Sohn des Arztes und Zahnarztes Dr. Ludwig Strack und seiner Ehefrau Dr. Irmgard Strack, geb. Esch, in Marburg geboren. Nach dem Besuch der Volksschule (Friedrich-Ebert-Schule Marburg) trat ich 1951 nach bestandener Aufnahmeprüfung in die Martin-Luther-Schule in Marburg ein, die ich im März 1960 mit dem Reifezeugnis verließ. Im selben Jahr wurde ich an der Philipps-Universität in Marburg für das Medizinstudium eingeschrieben. Nach zwei Semestern widmete ich mich dem Studium der Zahnheilkunde, das ich nach bestandener zahnärztlicher Vorprüfung (Oktober 1963) und zahnärztlicher Prüfung im Februar 1967 beendete.

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten in Marburg:
Bommer, Braun-Falco, Brück, Bücher, Cleve, Dimroth, Dölle, Drabert, Gedigk, Grebe, Hennis, Hensel, Hering, Heuser, Hohorst, Janke, Klingenberg, Korb, Kottmeyer, Lang, Mahr, Mann, Marx, Mattes, Maurath, Niessing, Pantke, Petry, Rosemann, Schiff, Schmid, Schmidt, Seidel, Siegert, Siess, Streicher, Vogt, Walcher, Wendt.